



TESIS - TE142599

DESAIN *REAL-TIME* MONITORING BERBASIS *WIRELESS SENSOR NETWORK* UPAYA MITIGASI BENCANA ERUPSI GUNUNGAPI

JOHAN PAMUNGKAS
NRP. 2211206709

DOSEN PEMBIMBING:
Dr. Ir. Wirawan, DEA

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TELEMATIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



TESIS - TE142599

**DESIGN REAL-TIME MONITORING BASED ON WIRELESS
SENSOR NETWORK DISASTER EFFORT FOR ERUPTION
MITIGATION OF VOLCANO**

**JOHAN PAMUNGKAS
NRP. 2211206709**

**SUPERVISOR:
Dr. Ir. Wirawan, DEA**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TELEMATIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Johan Pamungkas

NRP. 2211206709

Tanggal Ujian : 7 Januari 2016

Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui oleh :

1. Dr. Ir. Wirawan, DEA.

NIP. 19631109 198903 1 011

(Pembimbing)

2. Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA

NIP. 19651014 199012 1 002

(Penguji)

3. Eko Setijadi, ST, MT, Ph.d

NIP. 19721001 200312 1 002

(Penguji)

4. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc

NIP. 19540925 197803 1 001

(Penguji)

5. Dr. Adhi Dharma, ST., MT

NIP. 19760505 200812 1 003

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Ir. Djanhar Manfaat, M.Sc, Ph.D

NIP. 19661202 198701 1 001



DESAIN REAL TIME MONITORING BERBASIS *WIRELESS SENSOR NETWORK* UPAYA MITIGASI BENCANA ERUPSI GUNUNGAPI

Nama mahasiswa : Johan Pamungkas
NRP : 2211206709
Pembimbing : Dr. Ir. Wirawan, DEA

ABSTRAK

Indonesia yang terletak dengan kondisi geografis tempat pertemuan lempeng-lempeng Litosfir, lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik membuat lapisan bebatuan yang ada di Indonesia dilalui deretan pegunungan muda Mediterania yang merupakan gugusan pegunungan Himalaya, menjadikan Indonesia menjadi salah satu negara yang memiliki jumlah gunungapi aktif terbanyak di dunia. Dari 127 gunungapi yang aktif yang ada di Indonesia, 70 gunungapi diantaranya yang bisa dipantau oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologis. Dengan kehadiran teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN), yaitu sebuah teknologi jaringan sensor tanpa kabel dengan transmisi data menggunakan standar protokol IEEE 802.15.4/Zigbee, dengan device Xbee Pro Series, bisa menjadi salah satu alternatif untuk menjadikan sebagai alat bantu dalam memonitoring gunung-gunung aktif yang ada. Tujuan pembuatan perangkat komunikasi ini adalah sebagai perangkat yang digunakan untuk melakukan transmisi data hasil dari penginderaan yang dilakukan oleh sensor *temperature* dan gas. Dalam perangkat ini juga terintegrasi didalamnya sebuah mikrokontroler Arduino Uno yang berbasis ATmega 328 yang berfungsi untuk mengelola data. Dari hasil pengujian sistem didapatkan bahwa pada saat kondisi *Line of Sight* (LOS) jangkauan transmisi terjauh adalah sebesar 500 meter. Sedangkan untuk kondisi *Non Line of Sight* (NLOS) jarak jangkauan maksimal untuk paket data bisa terkirim adalah sejauh 25 meter dengan penghalang berupa bahan tembok beton dengan ketebalan beton 15 cm. Dari hasil pengujian *throughput* yang didapatkan untuk jarak 100 sampai 200 meter banyaknya data yang diterima oleh *server node* bisa mencapai nilai 2,1 KBps, bila jaraknya ditambah menjadi 300 meter sampai 500 meter nilai *throughput* nya sebesar 1,80 sampai dengan 1,23 KBps, sedangkan untuk jarak 500 meter hanya mencapai nilai 0,836 KBps.

Kata kunci: *Wireless Sensor Network*, Gunung Berapi, Sensor *Temperature*, Sensor Gas, *Line of Sight*, *Non Line of Sight*,

DESIGN REAL TIME MONITORING BASED *WIRELESS* *SENSOR NETWORK* DISASTER EFFORT FOR ERUPTION MITIGATION OF VOLCANO

Name : Johan Pamungkas
NRP : 2211206709
Supervisor : Dr. Ir. Wirawan, DEA

ABSTRACT

The Geographical Location of Indonesia is place that meeting plates, They are Lithosphere Plate, Indo-Australian Plate, The Eurasian Plate and the Pacific Plate to make a ring of fire that exist in Indonesia pass through a row of The Young Mediterranean Mountains, Which owns The Cluster of the Himalayas makes Indonesia, The Most Dangerous Country who have lot of number of active volcano in The World. From The 127's active volcano in Indonesia, Just only 70 volcanoes which can be monitored by the Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation (PVMBG). With The Technological improvemnet of Wireless Sensor Network (WSN), Which is a wireless sensor network technology with data transmission using a standard protocol IEEE 802.15.4 / Zigbee, with XBee Pro Series device, can be an alternative to make as monitoring tools the mountain- active volcano over there. The purpose of making these communication devices is a device used to transmit data from the results of sensing performed by the temperature sensor and gas. In this device also integrates therein an Arduino Uno microcontroller based ATmega 328 that serves to mengkelolah data. From the test results showed that the system at the time the condition of Line of Sight (LOS) transmission range is 500 meters farthest. As for the condition of Non Line of Sight (NLOS) range of the maximum distance to data packets can be sent is 25 meters with a barrier material such as concrete walls with a thickness of 15 cm concrete. Throughput of the test results obtained for a distance of 100 to 200 meters show the amount of data received by the server node can reach a value of 2.1 Bps. When the distance is increased or changed from 300 to 500 meters that throughput values have range of 1.80 to 1.23 KBps, Where as for a distance of 500 meters that test result showed could be reach only 0,836 KBps.

Keywords: Wireless Sensor Network, Volcano, Temperature Sensor, Gas Sensor, Line of Sight, Non Line of Sight,

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kemudahan serta pertolongan. Sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis dengan judul “Desain Real-Time Monitoring Berbasis *Wireless Sensor Network* Upaya Mitigasi Bencana Erupsi Gunungapi”.

Laporan Tesis ini disusun bertujuan guna memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi pada Program Magister Bidang Studi Telematika, Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dengan terselesaikannya laporan tesis ini, rasa terima kasih yang mendalam saya ucapkan kepada :

1. Ibuku Bun Yanah yang dengan penuh kesabaran selalu memberikan semangat.
2. Istriku Purwati, S.TP yang telah sabar dan memiliki pengertian yang luar biasa selama penulis menempuh studi.
3. Kakakku Indri Tri Hapsari, S.Sos, SP.d, Firman Abdi, SP.d, Catur Wulandari, SP.d, M. Sukandar, Theresia Niken Widowati, S.H, M.Kn, Didik Sukoco, S.E dan Adikku Ade Yudha Priyatna yang ikut mendoakan kelancaran studi.
4. Mas Catur W Wijaya, S.T, M.MT, Mas Sirojuddin, M.T, Mas Dirvi Juliando S, M.T dan Abdul Rahman, M.T, kawan teristimewa yang selalu memberikan semangat di titik penghabisan.
5. Bapak Dr. Ir. Wirawan, DEA., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, dukungan, motivasi, semangat dan kepercayaan selama menempuh studi.
6. Prof. Hery Maurudie Hery, yang telah sabar menjadi Dosen Pembimbing Akademik selama penulis menempuh studi.
7. Bapak Dr. Adhi Dharma Wibisana, S.T., M.T., selaku koordinator bidang keahlian Telematika serta salah satu dosen penguji yang telah memberikan arahan dan saran,
8. Bapak Dr. Achmad Affandi, DEA, Bapak Eko Setijadi, ST, M.T, P.h.D., Bapak Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc., selaku penguji yang

telah memberikan saran, kritik dan masukan yang demi selesainya laporan ini.

9. Ibu Dr. Hetty , Bapak Devy Syahbana dan Bapak Hendra Gunawan dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi yang telah membantu penulis untuk mendapatkan data penelitian di Gunung Kelud.
10. Teman-teman Pasca Sarjana Bidang Keahlian Telematika Angkatan 2012, 2013, 2014, dan 2015 atas kebersamaan dan dukungannya sehingga terselesaikannya laporan tesis ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang secara tulus ikhlas telah membantu dalam penyelesaian laporan tesis ini.

Didalam penulisan laporan tesis ini tentunya masih terdapat kekurangan-kekurangan, penulis berharap ada masukan dan saran perbaikan dari pembaca. Penulis berharap laporan tesis ini dapat bermanfaat secara luas sebagai salah satu karya dalam ilmu pengetahuan di Indonesia.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.5. Relevansi	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 7
2.1 Geologis Gunung Kelud	7
2.2 Geografis Gunung Kelud	8
2.3 Sejarah Letusan Gunung Kelud.....	11
2.4 Geokimia Gunung Kelud	12
2.4.1 Kimia Batuan Gunung Kelud.....	12
2.4.2 Kimia Air.....	13
2.4.3 Kimia Gas.....	13
2.5 Monitoring Gunungapi	15

2.6 <i>Wireless Sensor Network</i>	16
2.7 Standar pada <i>Wireless Sensor Network</i>	17
2.8. <i>Zigbee/IEEE 802.15.4</i>	19
2.8.1 <i>Arsitektur ZigBee</i>	20
2.8.2 <i>Topologi Jaringan ZigBee</i>	21
2.8.3 <i>Perangkat ZigBee</i>	22
2.9. <i>Parameter Kinerja Wireless Sensor Network</i>	23
2.9.1 <i>Line of Sight (LOS)</i>	26
2.9.2 <i>Non Line of Sight (NLOS)</i>	28
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1. <i>Perancangan Wireless Sensor Network</i>	34
3.2. <i>Perancangan Hardware</i>	36
3.3. <i>Modifikasi Penjadwalan Pengiriman Data dalam Real Time</i> <i>Monitoring Gunungapi</i>	40
3.4. <i>Sistem Pengalamatan Node</i>	40
3.5. <i>Rancangan Pengujian Sistem</i>	45
3.6. <i>Perhitungan Performansi Dan Analisa Jaringan Sensor Nirkabel</i> ..	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1. <i>Implementasi Dan Pengujian Sistem</i>	47
4.1.1 <i>Perhitungan secara Teoritis</i>	47
4.1.2 <i>Implementasi Untuk Perangkat Sensor Node dan Sensor</i> <i>Node</i>	48
4.1.3 <i>Pengujian pengiriman data dari Sensor Node ke Sensor</i> <i>Node</i>	47
4.1.4 <i>Pengujian Analog Digital Converter (ADC) dan Kalibrasi</i> <i>Sensor</i>	47
4.1.5 <i>Pengujian Baudrate Radio Frequency pada Xbee Pro</i>	47
4.2. <i>Pengujian Jangkauan Maksimum, Delay, dan Throughput</i>	46
4.3. <i>Pengujian Sensor Temperature</i>	59
4.3. <i>Pengujian Sensor Gas Carbon Dioksida (CO²)</i>	62

BAB V PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

RIWAYAT HIDUP

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sebaran Gunungapi di Indonesia	7
Gambar 2.2. Gunung Kelud	9
Gambar 2.3. Peta Geologi Gunung Kelud	10
Gambar 2.4. Selang Letusan Gunung Kelud setelah Abad 20	12
Gambar 2.5. (a) Nikol Bersilang,32 (b) Sejajar Nikol 32X	13
Gambar 2.6. Peta Sebaran Fluks CO ² Gunung Kelud	14
Gambar 2.7. Kuantitas CO ² yang dilepas kawah Gunung Kelud	15
Gambar 2.8. Perangkat <i>Xbee Pro</i>	22
Gambar 2.9. Ilustrasi <i>Fresnel Zone</i>	26
Gambar 2.10. Multipath Fading	28
Gambar 3.1. Flowchart Metodologi Penelitian	29
Gambar 3.2. Arsitektur <i>Real Time</i> Monitoring Gunungapi dengan WSN	30
Gambar 3.3. Board Arduino UNO	32
Gambar 3.4. Rangkaian Adapter Xbee Pro di <i>Server Node</i>	34
Gambar 3.5. <i>Server Node</i>	35
Gambar 3.6. Sensor Gas MG-811	36
Gambar 3.7. Bentuk Fisik Sensor Arus <i>Temperature</i> LM-35	36
Gambar 3.8. format Protokol Pemaketan Data <i>Sensor Node</i>	36
Gambar 3.9. <i>Flowchart</i> Pengiriman Data pada <i>Sensor Node 2</i>	38
Gambar 3.10 <i>Flowchart</i> Pengiriman Data pada <i>Sensor Node 1</i>	39
Gambar 3.11 <i>Flowchart</i> Pengiriman Data pada <i>Server Node</i>	40
Gambar 3.12 Setting Mode Xbee Pro	41
Gambar 3.13 Aturan Penulisan AT Command	43

Gambar 3.14 Area Sekitar Kawah Gunung Kelud	43
Gambar 3.15 Skenario Pengukuran di Sekitaran Kawah Gunung Kelud.....	44
Gambar 4.1 Perangkat Sensor Node	49
Gambar 4.2 <i>Server Node</i>	50
Gambar 4.3 Pengujian TX dan RX antara <i>Sensor Node</i> dan <i>Server Node</i>	51
Gambar 4.4 Pengujian Jangkauan Transmisi Kondisi <i>Line of Sight</i> (LOS)	55
Gambar 4.5 Denah Lokasi Pengujian <i>Line of Sight</i> (NLOS)	56
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Jarak Terhadap <i>Delay</i>	59
Gambar 4.7 Skenario Pengujian Sistem Real Time Monitoring Gunungapi	61
Gambar 4.8. Monitoring <i>Temperature</i> pada Zona 1 dan Zona 2.....	62
Gambar 4.9. Kondisi Lingkungan Gunung Kelud pada pukul 11.00	63
Gambar 4.10. Grafik Perbandingan antara pembacaan tegangan keluaran dengan konsentrasi CO ²	65
Gambar 4.11. Hasil Pengukuran Sensor Gas CO ²	65
Gambar 4.12. Model Pendekatan Sensor CO ² terhadap alat ukur standar	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik <i>ZigBee</i> , <i>Bluetooth</i> , dan IEEE 802.11b	14
Tabel 3.1 Spesifikasi Arduino UNO	31
Tabel 3.2 Fitur Spesifikasi <i>Xbee Pro</i>	33
Tabel 3.3 Sistem Pengalamatan Node	42
Tabel 4.1 Peralatan yang digunakan dalam penelitian	45
Tabel 4.2 Pengujian Pengiriman <i>Sensor Node</i> dan <i>Server Node</i>	49
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Antara Pembacaan Tegangan ADC Microcontroller Arduino dan Tegangan Analog Sensor	50
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sensor LM-35	50
Tabel 4.5 Data Hasil Pengukuran Kualitas Pengiriman Data Xbee Pro Menggunakan Baudrate 9600	51
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Jarak Transmisi Terjauh Kondisi <i>Line Of Sight</i> (LOS)	53
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Jarak Transmisi Terjauh Kondisi Non <i>Line Of</i> <i>Sight</i> (NLOS)	54
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran <i>Throughput</i>	55
Tabel 4.9 Hasil Pengukuran <i>Delay</i>	56
Tabel 4.10 Kondisi Pengukuran di Gunung Kelud	57
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Pengukuran Tegangan Keluaran	61
Tabel 4.12 Perbandingan Alat Standar dengan Sensor Gas CO ²	63

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
Δt	<i>End-to-end Delay</i>
$^{\circ}C$	<i>derajat Celcius</i>
bps	<i>bit per second</i>
Byte	Satuan Data
cc	<i>cubic centimeter</i>
CO^2	<i>Carbon Dioxide</i>
KBps	<i>Kilo Byte per second</i>
LOS	<i>Line of Sight</i>
<i>m</i>	<i>meter</i>
<i>ms</i>	millisecond
N	Paket Data
NLOS	<i>Non Line of Sight</i>
ppm	<i>part per million</i>
t_0	Waktu Terima
t_t	Waktu Kirim
η	<i>Throughput</i>
τ	Total waktu untuk transmisi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia merupakan negara yang terletak pada titik pertemuan antara lempeng Lithosfer, lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik akibat dari lapisan bebatuan yang ada di Indonesia. Lapisan bebatuan tersebut terbagi menjadi beberapa bagian yaitu : Indonesia daerah bagian barat dilalui oleh deretan Pegunungan Muda Mediterania yang merupakan gugusan dari pegunungan Himayala sedangkan di Indonesia bagian timur merupakan gugusan pegunungan sirkum Pasifik.

Indonesia termasuk memiliki jumlah gunungapi yang dikategorikan aktif terbanyak di dunia, yaitu sebanyak 127 gunungapi dan dari jumlah tersebut hanya 70 gunung yang dipantau oleh Pusta Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologis (PVMBG) diantaranya yang baru bisa termonitoring. (Hendrajaya, Bayu, 2015) Letak geologis ini yang menyebabkan Indonesia menjadi salah satu negara yang rawan bencana geologis seperti gempa bumi, tanah longsor, erupsi gunung berapi dan tsunami.

Bencana erupsi Gunung Merapi pada tahun 2010 yang mengakibatkan kerusakan dan kerugian serta korban jiwa meninggal sebanyak 123 jiwa dan 147 jiwa diharuskan dirawat inap serta sebanyak 56.414 jiwa harus diungsikan dari tempat tinggalnya (BPD DIY, 7 Nopember 2010). Bencana Erupsi Gunung Merapi yang terjadi pada tahun 2010 tidak hanya menyebabkan kerugian secara material saja tetapi juga secara ekonomi juga karena lima kecamatan yang berada disekitaran wilayah rawan bencana tersebut seperti Kecamatan Cangkringan, Kecamatan Pakem, Kecamatan Turi, Kecamatan Tempel dan Kecamatan Ngeplak lumpuh secara aktifitas ekonomi (Republika, 2010). Tetapi disisi lain, keuntungan dengan dikelilingi gunungapi yang aktif khususnya tipe strato menyebabkan kondisi tanah disekitarnya subur sehingga menyebabkan adanya kepadatan konsentrasi sebaran populasi penduduk yang memanfaatkan kondisi tersebut dalam bidang pertanian. Dengan kondisi tersebut ada beberapa konsekuensi yang harus dipenuhi dan menjadi kewajiban negara, yaitu melindungi seluruh penduduknya terkonsentrasi di daerah rawan bencana erupsi gunungapi. Di sini peranan negara dan pemerintahan diharapkan mampu mengambil langkah-langkah yang tepat untuk mengurangi resiko dan mempunyai

rencana keadaan darurat dalam upaya meminimalkan dampak dari bencana tersebut, salah satunya dengan memanfaatkan kemajuan teknologi pada saat ini.

Hal tersebut juga dituangkan dalam Undang-undang tentang Penanggulangan Bencana Nasional, Undang-undang tersebut berfungsi sebagai pedoman dasar yang mengatur wewenang, hak, kewajiban dan sanksi bagi segenap penyelenggara dan pemangku kepentingan di bidang penanggulangan bencana. Dalam UU tersebut juga disebutkan bahwasannya penyelenggaraan penanggulangan bencana dalam situasi yang memiliki potensi terjadinya bencana yang didalamnya meliputi kesiapsiagaan, peringatan dini dan mitigasi bencana (UU nomer 24 Tahun 2007)

Mitigasi yang dimaksud disini adalah berupa tindakan yang mengurangi risiko bencana bagi masyarakat yang berada pada kawasan rawan bencana yang dapat dilakukan melalui berbagai cara termasuk pelaksanaan penataan ruang, pengaturan pembangunan, pembangunan infrastruktur, tata bangunan dan tak kalah penting adalah penyelenggaraan pendidikan, penyuluhan dan pelatihan baik secara konvensional maupun modern. Mitigasi bencana erupsi gunungapi dalam pengertian secara luas dapat diartikan sebagai segala usaha dan tindakan untuk mengurangi dampak bencana yang disebabkan oleh gunungapi.

Wireless Sensor Network atau biasa disebut WSN merupakan teknologi yang berkembang pesat dan luas saat ini. Hal tersebut berkaitan dengan berkembangnya teknologi yang berkaitan dengan teknologi sensor, teknologi sistem komunikasi serta perkembangan teknologi digital sendiri. *Wireless Sensor Network* memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan untuk menjadi alat untuk studi tentang aktifitas gunungapi. Para ahli gunungapi atau *volcanologist* saat ini masih menggunakan peralatan konvensional dengan kabel yang menghubungkan sensor dengan pos pengamatan, contohnya : *seismometer* dan *acoustic microphone* untuk mengamati erupsi dari gunungapi. Sensor-sensor ini menggunakan mekanisme dengan cara menempatkan sensor-sensor dengan sumber gempa bumi atau ledakan. Studi tentang mengenai erupsi gunungapi secara tidak langsung harus mempelajari struktur dalam gunungapi itu sendiri dan mencari cara bagaimana membedakan, Apakah itu sinyal yang diterima sensor dalam upaya mengidentifikasi apakah sinyal tersebut akan menyebabkan erupsi pada gunungapi yang diamati. (G. Werner, 2005).

Penggunaan dari teknologi perkembangan *wireless sensor network* sebagai alat untuk pengamatan aktifitas gunungapi sendiri, diawali oleh G. Werner dan J. Johnson Allen pada tahun 2004 untuk mengamati aktivitas dari gunung Tungurahua, Ekuador Tengah. Pada saat itu masih digunakannya sensor akustik berfrekuensi rendah dengan sistem *ad-hoc*, tidak *real-time* dan *single-hop*. Kemudian dilanjutkan dengan mengimplementasikan di gunung yang berbeda yaitu di Gunung Reventador, Ekuador Utara tetapi dengan jaringan yang berbeda dengan penelitian sebelumnya. Dalam penelitian sebelumnya yang semula dengan sistem *single-hop* diubah menjadi sistem, *multi-hop* dan mentransmisikan ke *base-to-base*. Perkembangan implementasi *wireless sensor network* untuk pengamatan aktifitas gunungapi tidak berhenti disitu saja. Tetapi dilakukan juga oleh 2 peneliti yaitu oleh Z. Song dan R. Huang dengan proyek OASIS nya dengan cara menerapkan desain algoritma yang baru sehingga mampu memperbaiki kinerja dari upaya meningkatkan resolusi data yang dihasilkan dan dikirimkan ke *base station*. Implementasi *wireless sensor network* pada penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada bagaimana mengembangkan *wireless sensor network* yang memiliki kemampuan untuk mengumpulkan data-data dalam bentuk RAW dengan ukuran data yang *high-resolution* yang dikirim ke *base station* saja.

Dengan perkembangan teknologi piranti elektronika yang seiring dengan perkembangan protokol komunikasi dan informasi yang ada sekarang telah membawa kita menuju suatu sensor (alat deteksi) generasi baru yang murah, akurat dan memiliki daya jangkauan yang lebih luas. Kemajuan dibidang desain, material dan perancangan konsep jaringan komunikasi akan membawa dampak positif pada *power*, *life time*, *cost* dan kinerja dari sensor itu sendiri secara signifikan sehingga didapat sensor dengan kemampuan teknologi deteksi (*sensing*) yang lebih baik.

Perkembangan teknologi deteksi yang murah, akurat dan memiliki daya jangkauan yang lebih luas diwujudkan dalam sebuah bentuk jaringan sensor (*network-ed sensor*). Jaringan sensor itu sendiri berbentuk satu kesatuan dari proses pengukuran, komputasi, dan komunikasi yang memberikan kemampuan administratif kepada sebuah perangkat, observasi, dan melakukan penanganan terhadap setiap kejadian dan fenomena yang terjadi di lingkungan. Dalam kondisi seperti itu tidak dimungkinkan komunikasi menggunakan kabel, perlu adanya suatu jaringan tanpa kabel untuk nantinya menguatkan paket data yang bertujuan menyampaikan data informasi dari *single node*. Dengan teknik ini dimungkinkan

area yang terjangkau pada komunikasi itu lebih luas. Hal ini diterapkan pada jaringan sensor nirkabel atau *wireless sensor network*.

Sehingga dalam penelitian ini dikemukakan permasalahan bagaimana membuat suatu desain dari hasil *pengembangan wireless sensor network* yang dapat digunakan untuk melakukan pengamatan terhadap segala aktivitas kegiatan gunungapi khususnya aktivitas vulkanis seperti monitoring temperature serta monitoring kandungan gas CO² yang ada di Gunung Kelud, Kediri, Jawa Timur

1.2 Rumusan Permasalahan

Pada Tesis ini permasalahan yang akan dibahas adalah belum adanya sistem real-time monitoring untuk pengamatan gas dan *temperature* di sebagian besar gunungapi yang ada di Indonesia.

1.3 Batasan Masalah

Dalam tesis ini, penulis memberikan batasan permasalahan sebagai berikut:

1. Sistem komunikasi *multihop* menggunakan protokol routing statis dengan maksimal 2 hop.
2. Sensor yang digunakan adalah *sensor temperature* dan sensor gas.
3. Protokol komunikasi menggunakan protokol *standart* IEEE 802.15.4/Zigbee.
4. Kondisi pengukuran adalah pada saat *Line Of Sight* (LOS) dan Non Line Of Sight (NLOS).
5. Perangkat yang digunakan sebagai sensor adalah Xbee Pro Series yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz.
6. Pada penelitian ini tidak membahas adanya rugi-rugi propagasi kanal

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari tesis ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem *real-time monitoring* gunungapi dengan *wireless sensor network*.

2. Membuat sebuah prototipe sistem komunikasi data sistem *real time* monitoring menggunakan *wireless sensor network* dan *protocol zigbee* dengan Xbee Pro.

1.5 Relevansi

Dari usulan penelitian tesis ini diharapkan dapat memberikan kontribusi keilmiah pada implementasi *wireless sensor network* untuk proses monitoring gunungapi dan sekaligus dapat bermanfaat pada sistem monitoring gunung-gunung api di Indonesia dalam upaya mitigasi bencana erupsi gunungapi.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan, usulan tesis ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bagian pendahuluan berisi latar belakang, maksud dan tujuan penulisan, perumusan masalah, pembatasan masalah dan metode penelitian yang digunakan, serta sistematika pembahasan.

BAB II. DASAR TEORI

Pada bab ini berisi teori pendukung yaitu tentang parameter-parameter *wireless sensor network*, dan *wireless sensor network* terintegrasi dengan sensor, serta pembahasan dasar dari parameter.

BAB III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisi metode penelitian yang digunakan dalam mengimplementasi desain *real time monitoring* pada gunungapi . Penggunaan dan integrasi sensor *temperature* dan gas dalam sistem *wireless sensor network*.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang hasil pengujian sistem real-time monitoring dengan *wireless sensor network* dan pengukuran performansi *wireless sensor network* sensor serta pengukuran aktifitas vulkanik seperti *temperature* dan gas CO²

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

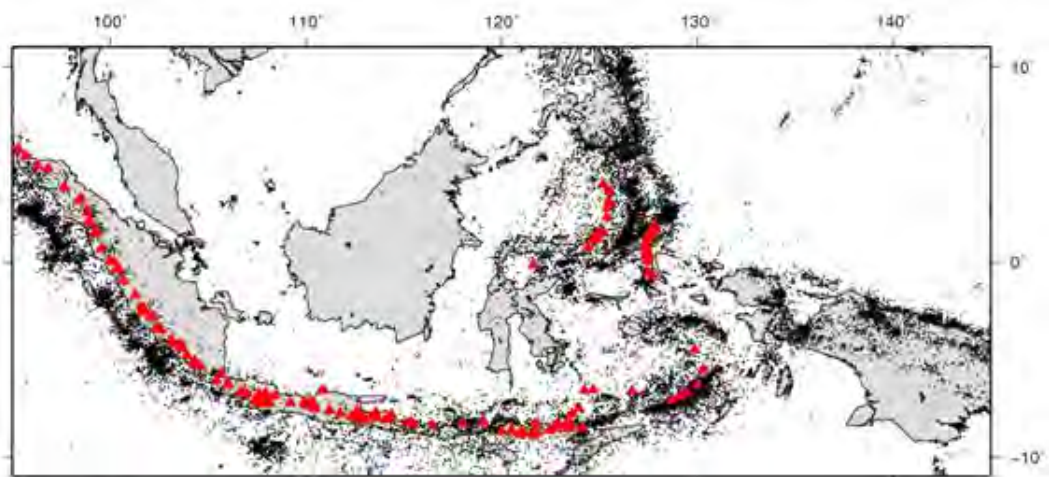
Pada bab ini berisi tentang kesimpulan penelitian dari analisis bab 3 beserta saran untuk kemajuan penelitian ini ke depannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologis Indonesia dan Gunungapi

Indonesia adalah negara yang terletak di daerah pertemuan beberapa lempeng tektonik sehingga menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki gunungapi aktif terbanyak di dunia. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral mencatat sebanyak 129 gunung aktif yang 13% dari jumlah keseluruhan gunung api di seluruh dunia tersebut berada di kawasan Indonesia. Dan dari 129 gunung api yang ada setidaknya kurang lebih 80 gunungapi yang dimasukkan dalam kategori aktif dan memiliki potensi untuk meletus.



www.vsi.esdm.go.id

Gambar 2.1 Sebaran Gunungapi di Indonesia

Gunungapi sendiri dapat menjadi sumber bencana ketika mengalami letusan. Bahaya letusan gunungapi tersebut disebabkan oleh antara lain awan panas, longsoran gunungapi, gas beracun, guguran batu pijar, lontaran batu pijar, lahar akibat letusan (magma). Aliran lava, aliran lumpur terkait dengan curah

hujan (lahar dingin), hujan abu, tsunami akibat letusan, gempa, gelombang kejut anomali panas bumi, anomali air bawah permukaan dan longsoran. Walaupun dibalik semua bahaya yang telah disebutkan dan mengancam, gunungapi mempunyai aspek positif, misalnya kesuburan lahan untuk pertanian, *landscape* sebagai salah satu potensi pariwisata, dan juga sebagai salah satu sumber energi alternatif yaitu energi panas bumi.

2.2 Geografis Gunung Kelud



www.vsi.esdm.go.id

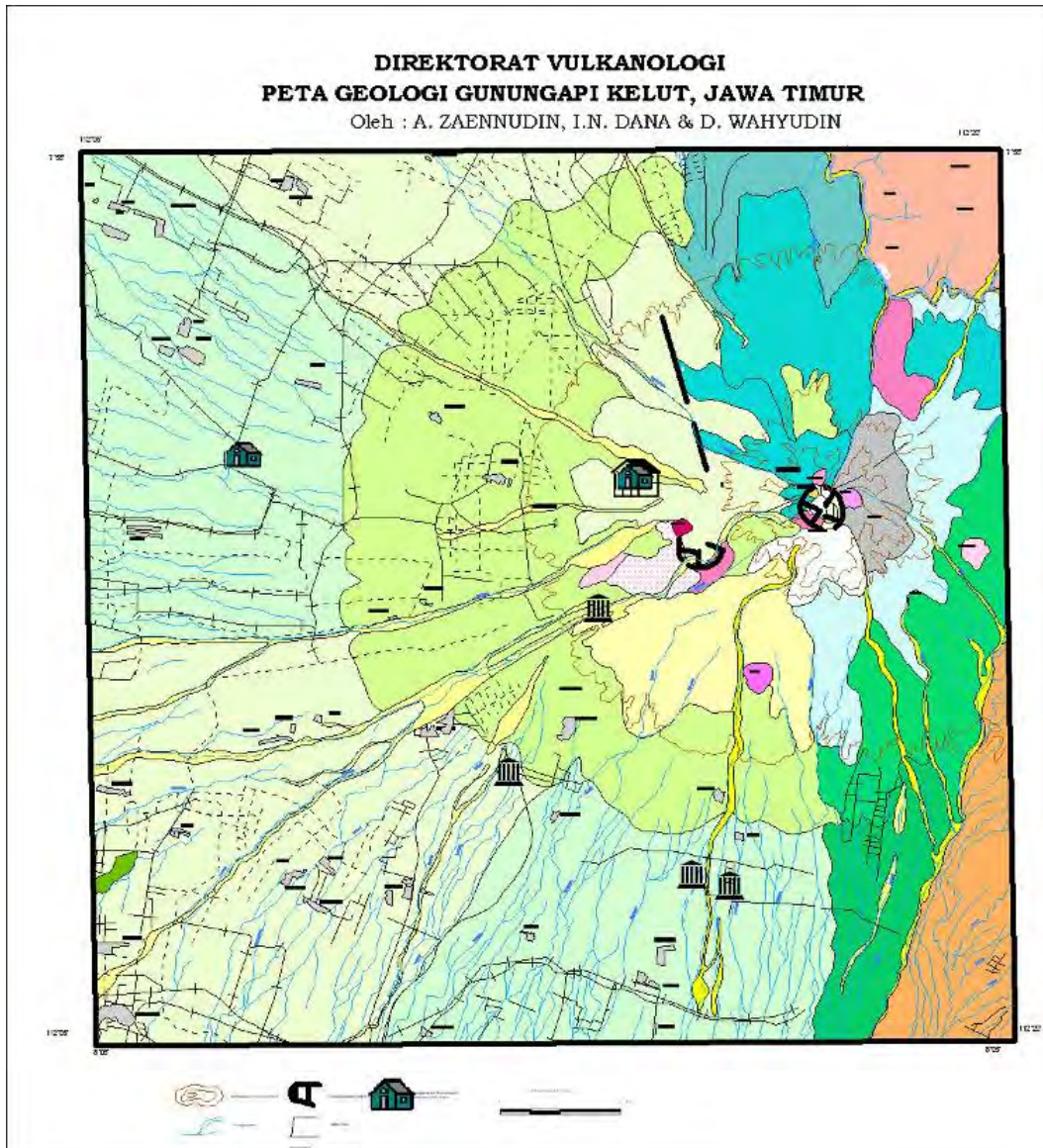
Gambar 2.2 Gunung Kelud

Keterangan Umum

Nama Gunungapi	: Gunung kelud, Jawa Timur
Nama Lain	: Kelud, Klut, Coloot
Nama Kawah	: -

Lokasi	: a. Geografis : 7° 56' 00 LS dan 112° 18' 30 BT : b. Adiministrasi Kabupaten Kediri, Kabupaten Blitar dan Kabupaten Malang Propinsi Jawa Timur.
Ketinggian	: a. Puncak 1731 m dpl : b. Danau Kawah ; 1113,9 m (Hadikusumo, 1960)
Tipe Gunungapi	: Strato
Kota Terdekat	: Kediri
Pos Pengamatan	: Desa Margomulyo, Kecamatan Wates, Kediri
Posisi Geografis PP	: °55'40,14"LS dan 112°14'45,48" BT
Ketinggian PP	: 675 dpl

Gunung Kelud dengan ketinggian 1731 meter merupakan produk dari proses tumbukan antara lempeng Indo-Australia yang menunjam ke bawah lempeng Asia di sebelah selatan pulau Jawa. Gunung Kelud sebagai gunungapi muda yang tumbuh pada zaman Kuarter Muda atau Holosen. Selain itu Gunung Kelud merupakan salah satu gunungapi dalam deretan gunungapi yang tumbuh dan berkembang di dalam Sub Zona Blitar dari Zona Solo, yang rangkaianannya dimulai dari daerah bagian selatan Pulau Jawa Bagian Tengah yaitu Gunung Lawu hingga bagian Pulau Jawa Bagian Timur, yaitu Gunung Raung. Yang diantara keduanya dibatasi oleh gawir sesar Pegunungan Selatan. Perkembangan Gunung Kelud sangat terbatas, hal tersebut nampak dari bentuk kerucut gunungapi yang rendah, puncak tidak teratur, tajam serta terjal. Sedangkan untuk keadaan puncak-puncaknya, hal tersebut disebabkan oleh sifat letusannya yang sangat merusak (eksplosif) yang biasa disertai dengan pertumbuhan sumbat—sumbat lava seperti pada Puncak Sumbing, Gajahmungkur dan Puncak Kelud.



Gambar 2.3 Peta Geologi Gunung Kelud

Secara morfologi sendiri Gunung kelud pada dasarnya terbagi menjadi 5 satuan morfologi (A. Djumarma, 1991) yaitu :

1. Satuan Morfologi Puncak dan Kawah.

Satuan morfologi puncak dan kawah Gunung Kelud memiliki ketinggian diatas 1000 mdpl yang tersusun oleh aliran lava, kubah lava, dan bantuan piriklastik. Bentuk dari morfologi tidak teratur dengan bukit-bukit kecil dengan tebing curam dengan kemiringan lereng lebih besar dari 40 serta

memiliki pola aliran yang ada pada satuan morfologi ini adalah dalam bentuk pola aliran radial.

2. Satuan Morfologi Tubuh Gunungapi.

Satuan Morfologi Tubuh Gunungapi terletak pada ketinggian antara 600 – 1000 dpl yang tersusun atas aliran bantuan piroklastik, jatuhan serta endapan dari lahar atau lava. Selain itu satuan morfologi tubuh gunungapi memiliki kemiringan lereng antara 5-20 derajat dan memiliki pola aliran yang berkemang dalam bentuk pola radial – paralel.

3. Satuan Morfologi Kerucut Samping.

Satuan morfologi kerucut samping terdiri dari Bukit Umbuk dengan ketinggian 1014 meter terletak di sebelah barat daya, Bukit Pisang dengan ketinggian 865 meter terletak di sebelah selatan dan Bukit Kramasan dengan ketinggian 944 meter terletak di sebelah tenggara Gunung Kelud. Satuan ini terseusuan akibat dari aliran lava, aliran piroklastik dan kubah lava. Satuan morfologi kerucut samping ini mempunyai kemiringan lereng lebih besar dari 20 derajat.

4. Satuan Morfologi Kaki dan Dataran

Satuan Morfologi kaki dan dataran mempunyai ketinggian kurang dari 600 meter dpl, kemiringan lereng kurang dari 5 derajat dengan pola aliran berbentuk pola *parallel –braided* serta litologi dari penyusunannya berupa dari endapan lava dan jatuhan piroklastik.

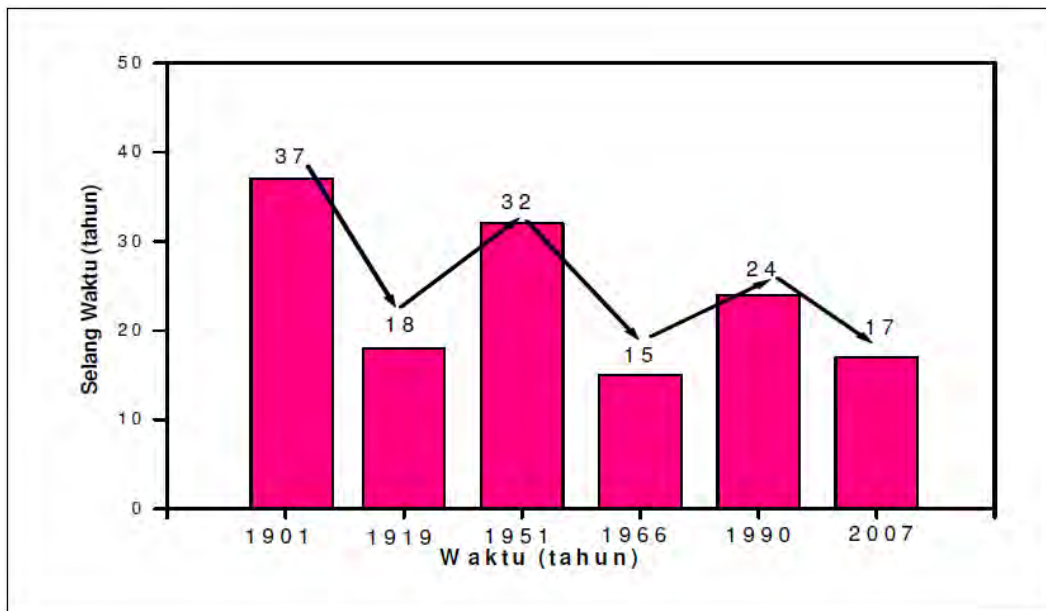
5. Satuan Morfologi Pengunungan Sekitarnya.

2.3 Sejarah Letusan Gunung Kelud

Gunung Kelud memiliki sejarah aktivitas yang tercatat sejak tahun 1000 hingga abad ke 20. Ada beberapa karakter ciri dari letusan yang ada di Gunung Kelud, yaitu :

1. Letusan semi magmatik merupakan letusan freatik yang terjadi akibat penguapan air danau kawah yang merembes melalui rekahan pada dasar kawah yang secara serentak kemudian dihembuskan ke atas permukaan. Jenis letusan ini umumnya mengawali aktivitas gunung Kelud terutama memicu terjadinya letusan magmatik.

2. Letusan magmatik merupakan letusan yang menghasilkan rempah- rempah gunungapi baru berupa lava, jatuhnya piroklastik, dan aliran piroklastik. Letusan magmatik yang terjadi umumnya bersifat eksplosif yang dipengaruhi penambahan kandungan gas vulkanik disertai meningkatnya energi letusan terutama energi panas.
3. Erupsi efusif, magma mengalir ke permukaan, dapat membentuk kubah lava atau mengalir ke lereng.



Gambar 2.4 Selang Letusan Gunung Kelud setelah Abad 20

2.4 Geokimia Gunung Kelud

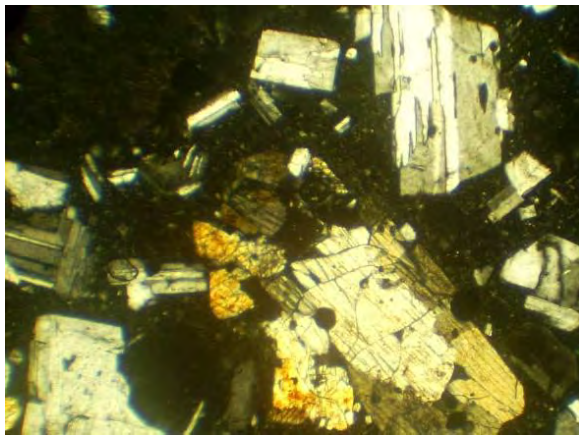
2.4.1 Kimia Batuan Gunung

Jenis batuan Gunung Kelud adalah “*Calk –Alkaline*” dengan komposisi dari medium K-Basalt sampai dengan medium K-Andesit. Sesuai dengan periode letusannya batuan Gunung Kelud dapat dibagi menjadi 3 yaitu batuan Kelud 1, Kelud 2 dan Kelud 3. Batuan Kelud 1 merupakan batuan yang berasal dari letusan kawah Lirang dan Gajahmungkur yang berumur lebih tua dari 100.000; Batuan Kelud 2 merupakan batuan yang berasal dari letusan kawah Tumpak, Sumbing 1 dan Sumbing 2 yang berumur antara 100.000 – 40.000; Batuan Kelud 3 adalah batuan yang berasal dari letusan kawah Dargo, Gupit, Badak 1 dan 2 serta kawah Kelud yang berumur kurang dari 40.000. Batuan Kelud 1 berkomposisi dari

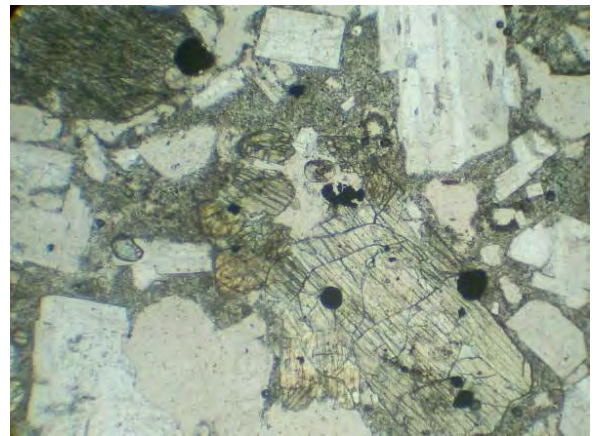
Basalt–Andesit, Kelud 2 berkomposisi *Basaltik-Andesit* dan Kelud 3 berkomposisi dari *Basalt–Basaltik Andesit*. Hasil sayatan tipis batuan Gunung Kelud (kubah lava 2007) menunjukkan tekstur porfiritik dan glomeroporfiritik, vesikuler, berbutir halus hingga berukuran 2,3 mm.

Komposisi (% volume) :

Plagioklas (50), Piroksen (15), Opak (4), Gelas (31).



(a)



(b)

Gambar 2.5 (a) Nikol bersilang, (b) 32 Sejajar nikol, 32X

Fotomikrograf : Andesit piroksen yang disusun oleh fenokris plagioklas dan piroksen di dalam masa dasar gelas, mikrolit plagioklas dan mineral opak.

2.4.2 Kimia Air

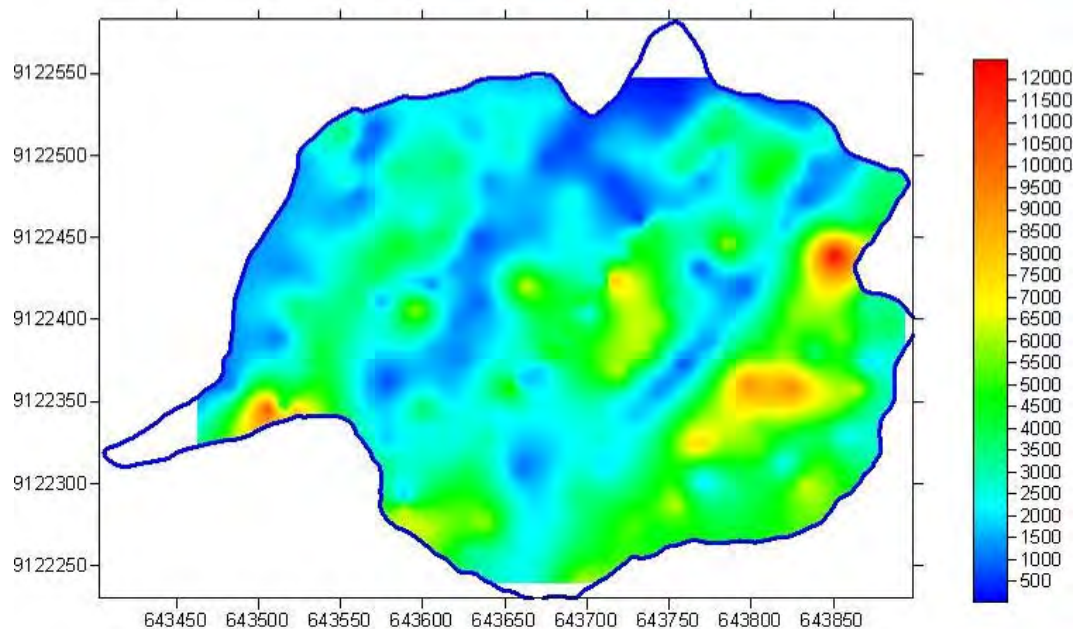
Air Kawah Kelud sebelum letusan letusan 2007, mempunyai tingkat keasaman yang netral sebagaimana air biasa, yaitu pH skitar 6,5. Namun demikian karena pencampurannya dengan gas-gas vulkanik dari dasar kawah, air itu mengandung Silika tinggi yaitu sekitar 95 ppm dan kadar belerang 550 ppm. Ciri utama air kawah Kelud ialah kandungan bikarbonatnya cukup tinggi yaitu sekitar 530 ppm.

2.4.3 Kimia Gas

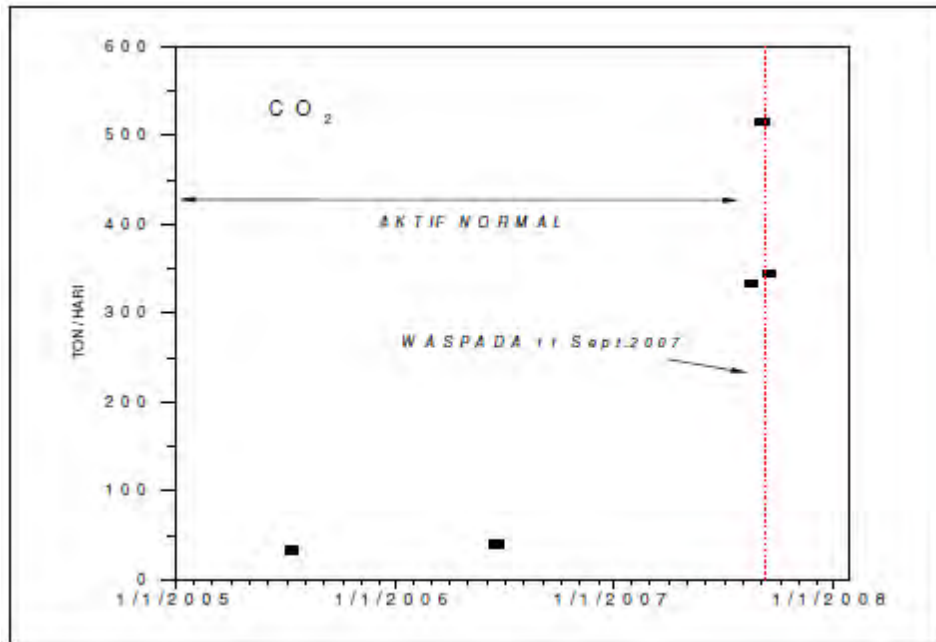
Konsentrasi Gas CO_2 yang tinggi disebabkan oleh gelembung gas yang sampai di udara. Kemudian gelembung gas akan bercampur dengan udara dan konsentrasi CO_2 menjadi cukup rendah sehingga menyebabkan efek. Ketika

melakukan pengambilan contoh gelembung gas atau selama survei batimetri tidak akan merasakan gejala keracunan gas CO_2 yang bisa menyebabkan pusing atau mata berkunang-kunang.

Pemantauan gas dilakukan dengan cara pengukuran fluks gas CO_2 yang keluar dari permukaan kawah guna mengestimasi kualitas gas CO_2 yang dihasilkan oleh proses pelepasan gas magma (*degassing*) dalam satu hari. Pada kondisi aktif normal fluks gas CO_2 berkisar dibawah 50 ton/hari. Akan tetapi pengukuran di awal bulan Agustus 2007 pengukuran gas konsentrasi CO_2 dengan Fluks Gas CO_2 menunjukkan peningkatan hingga mencapai sebesar 333 ton/hari. Selanjutnya pengukuran dilakukan kembali pada bulan September 2007, fluks gas CO_2 masih menunjukkan hasil peningkatan hingga mencapai nilai diatas 500 ton/hari. Kemudian pada pertengahan bulan September 2007 menunjukkan adanya penurunan fluks gas CO_2 yang menunjukkan nilai sebesar 344 ton/hari.



Gambar 2.6 Peta Sebaran Fluks CO_2 Gunung Kelud pada 30 Juli 2007 – 2
Agustus 2007



Gambar 2.7 Kuantitas CO² yang dilepas dari kawah Gunung Kelud

2.5 Monitoring Gunungapi

Dalam upaya melindungi kehidupan masyarakat yang bertempat tinggal di sekitar daerah vulkanis diperlukan tindakan mitigasi atau pencegahan yang salah satunya adalah dengan cara melakukan pemantauan (*monitoring*) aktivitas vulkanik dengan harapan memiliki kemampuan mendeteksi secara awal tanda-tanda adanya peningkatan bahaya sehingga peringatan dini (*early detection*) atau penyelamatan dapat dilakukan secara cepat dan tepat.

Tujuan monitoring atau pemantauan adalah mampu memprediksikan erupsi yang dapat diartikan sebagai upaya bagaimana mengetahui kapan erupsi gunungapi akan terjadi, berapa lama erupsi tersebut akan terjadi, dimana letak pusat erupsi dan bagaimana karakteristik erupsi itu sendiri. Para vulkanologi berusaha membuat suatu ramalan berdasarkan sejarah geologi gunungapi bersangkutan serta memantau tanda-tanda dari hari ke hari yang dapat diperoleh dari hasil pengamatan yang dilakukan, baik itu secara visual ataupun instrumental. Dengan adanya instrumen-instrumen yang diteliti dan berdasarkan data, baik itu pergerakan magma bawah permukaan dapat diikuti dengan proses mengamati

proses yang terjadi menyertai aktivitas kegempaan dan perubahan bentuk gunungapi dalam orde yang sangat kecil yang biasa disebut deformasi (*deformation*). Kemudian membuat analisis yang berkaitan dengan data-data yang sudah didapat. Sebelumnya terjadinya erupsi terdapat suatu gejala awal berupa perubahan-perubahan parameter fisika dan kimia yang terlihat secara visual maupun yang sudah terukur secara instrumental sebagai tanda aktivitas vulkanik sebelum terjadinya vulkanik atau biasa disebut "*Prekursor Erupsi*". Kemudian dari basis data pada masa gunungapi tidak aktif digunakan sebagai materi dalam menentukan tindakan selanjutnya.

Proses erupsi dan tanda-tanda yang muncul pada gunungapi ketika akan terjadi erupsi berbeda antara satu gunungapi dengan gunungapi yang lainnya, bahkan pada gunungapi yang sama sekalipun. Pamantauan aktivitas gunung pada saat aktivitas gunungapi meningkat melibatkan berbagai disiplin ilmu dan dengan berbagai macam peralatan. Pemantauan gunungapi dengan menggunakan instrumen-instrumen memerlukan tahap-tahap pekerjaan, diawali pemasangan, pemeliharaan dan pergantian peralatan yang biayanya tidak murah. Secara sederhana proses pemantauan dapat dikategorikan apabila magma naik menuju ke permukaan dan sebagai indikasi awal akan terjadinya erupsi antara lain :

1. Meningkatnya gempa-gempa vulkanik
2. Deformasi di permukaan akibat desakan magma
3. Kenaikan fluks gas-gas vulkanik dan
4. Adanya peningkatan suhu di area kawah.

2.6 Wireless Sensor Network

Sensor adalah sebuah perangkat yang memiliki fungsi untuk mengkonversikan besaran fisis ke besaran fisis lainnya, misalnya : listrik. Sensor pada Automation System dapat diartikan sebagai bagian yang tidak terpisahkan. Selain itu sensor juga memiliki fungsi sebagai perangkat untuk mengamati mana error antar set point dan nilai yang di sensing pada suatu sistem kontrol.

Sensor juga dapat diartikan sebagai bagian yang terintegrasi pada suatu sistem SCADA ataupun DCS.

Wireless Sensor merupakan pengembangan dari sensor biasa yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan kepraktisan, fleksibilitas, dan mobilitas dari sebuah sensor. Sebuah *Wireless Sensor* bisa diletakan pada daerah-daerah yang sulit untuk dijangkau oleh manusia atau berpotensi memiliki bahaya besar (*Hazardous Area*). *Wireless Sensor* merupakan suatu sistem dari microcontroller yang memiliki sebuah unit sensor serta sebuah *unit transceiver* ataupun juga receiver yang berfungsi untuk mengirimkan atau menerima data. Sehingga pengertian dari *Wireless Sensor* sendiri dapat diartikan sebagai sebuah *microcontroller* yang mempunyai kemampuan untuk diprogram sesuai dengan kebutuhan pemakai.

Sedangkan *Wireless Sensor Network* adalah suatu infrastruktur jaringan wireless yang menggunakan sensor-sensor untuk mengamati atau memonitoring fisik ataupun kondisi lingkungan tertentu seperti suhu, suara, getaran, gas, gelombang elektro magnetik, tekanan, pergerakan dan lain-lain. Suatu *Wireless Sensor Network* yang terdiri beberapa node-node, dimana masing-masing node tersebut dilengkapi dengan *radio transceiver* atau alat komunikasi wireless lainnya, *microcontroller* serta sumber energi (baterei).

2.7 Standard pada *Wireless Sensor Network*

Wireless Sensor memiliki 2 jenis standar komunikasi *wireless*, yaitu antara lain :

1. Standar IEEE 802.15.4

Protokol IEEE 802.15.4 merupakan salah satu standar protokol yang digunakan dalam komunikasi wireless. Protokol IEEE 802.15.4 merupakan salah satu jenis dari protokol-protokol pada WPAN (*Wireless Personal Area Network*). Salah satu jenis WPAN adalah teknologi *Bluetooth*. Protokol IEEE 802.15.4 ini merupakan salah satu standard untuk gelombang Radio (*Radio Frequency*, RF). Selain itu protokol ini bekerja pada data rate yang rendah agar sumber daya energi dari protokol ini dapat bertahan lama dan sederhana. Suatu perangkat yang menggunakan

protokol jenis ini dapat terkoneksi dengan baik dengan radius komunikasi maksimal 10 meter dan dengan data rate maksimal adalah 250 kbps dengan alat lainnya. Protokol IEEE 802.15.4 menggunakan 3 pita frekuensi untuk keperluan operasionalnya, seperti :

- a. 868 – 868.8 Mhz untuk penggunaan di daerah Kawasan Eropa
- b. 902 - 928 Mhz untuk penggunaan di daerah kawasan Amerika Utara
- c. 2400 – 2483.5 Mhz untuk penggunaan di kawasan daerah lainnya di seluruh belahan dunia.

Zigbee merupakan salah satu perusahaan yang mengembangkan layer-layer diatas layer untuk standar IEEE 802.15.4 ini. Selain itu dalam perkembangannya pada saat ini, protokol ini juga telah mendukung kemampuan untuk digunakan untuk IPv6, hal tersebut ditandai dengan dibuatnya RFC 4919 (*Request For Comments* 4919) dan RFC 4944 (*Request For Comments* 4944).

2. Standar IEEE 802.11

Standar IEEE 802.11 adalah salah satu protokol yang terdiri atas jenis standar lainnya untuk WLAN (*Wireless Local Area Network*). Protokol ini memiliki jenis protokol yang paling populer pada saat ini adalah standar IEEE 802.11g dan 802.11b. Pada *Wireless Sensor Network* biasa digunakan protokol IEEE 802.11b/g. Protokol 802.11 ini memiliki beberapa *channel* yang memiliki frekuensi yang berbeda-beda. Sehingga guna menghindari terjadinya interferensi antar perangkat yang menggunakan protokol IEEE 802.11 ini digunakan pembagian frekuensi untuk setiap masing-masing *channel*-nya dan diatur oleh kebijakan masing-masing negara.

Protokol IEEE 802.11 yang digunakan pada *Wireless Sensor* mempunyai data rate sebesar 11 MBps. Namun pada kenyataannya protokol jenis ini hanya mampu memiliki data rate maksimum sebesar 5.9 Mbps dengan TCP dan 7.1 Mbps untuk UDP (*User Datagram Protocol*). Hal ini dikarenakan adanya *overhead* pada CSMA. Sehingga protokol IEEE

802.11b ini mampu beroperasi pada radius jarak 38 meter dari perangkat lainnya serta memiliki frekuensi operasi pada 2,4 Ghz.

2.8 Zigbee / IEEE 802.15.4

ZigBee merupakan salah satu standar yang menetapkan mengenai seperangkat protokol yang digunakan untuk komunikasi dengan *low-data-rate* pada *wireless network* dengan jarak pendek (Caryicri, 2003). *ZigBee* juga merupakan salah satu protokol dalam *wireless network* yang didesain oleh perusahaan bernama ZigBee Alliance. Perangkat wireless yang berbasis *ZigBee* mampu beroperasi pada tiga rentang frekuensi yang biasa digunakan sesuai dengan standar frekuensi daerah setempat, yaitu : Frekuensi 868-870 MHz dengan 1 kanal, frekuensi 902-928 MHz dengan 10 kanal dan frekuensi 2,4 GHz dengan 16 kanal.

ZigBee sendiri memiliki keunggulan dari bentuknya yang minimalis dan cara pengoperasiannya yang mudah. Selain itu, *ZigBee* didesain untuk mampu melakukan komunikasi jarak pendek, yaitu dengan jarak komunikasi hanya sekitar 10 meter hingga 100 meter. Sedangkan kecepatan komunikasi yang dimiliki oleh *ZigBee* hanya sekitar 250 kbps.

Bluetooth dibangun dengan struktur komunikasi *point-to-multi-point* (Zhao, 2007). Namun, paling banyak, hanya delapan *node* bisa didukung oleh jaringan *Bluetooth*. Oleh karena itu, *Bluetooth* tidak dapat membentuk jaringan yang besar dan kompleks. *ZigBee* dapat digunakan untuk membentuk jaringan yang besar, sehingga dapat digunakan untuk memecahkan masalah-masalah yang memerlukan model jaringan yang besar (Septinurriandiani, 2011). Secara teoritis, struktur jaringan *ZigBee* dapat menghubungkan lebih dari 65.000 *node*. Perbandingan Standar *ZigBee* dengan *Bluetooth* dan IEEE 802.11 WLAN *ZigBee* terlihat pada Tabel 2.1 menunjukkan karakteristik dasar dari tiga standar tersebut.

Tabel 2.1. Karakteristik *ZigBee*, *Bluetooth*, dan IEEE 802.11b

	Data Rate	Typical Range	Application Examples
ZigBee/IEEE 802.15.4	20 to 250 Kbps	10-100 m	<i>Wireless Sensor Networks</i>
Bluetooth	1 to 3 Mbps	2-10 m	<i>Wireless Headset</i> <i>Wireless Mouse</i>
IEEE 802.11b	1 to 11 Mbps	30-100 m	<i>Wireless Internet Connection</i>

Dengan jarak komunikasi yang pendek dan kecepatan komunikasi yang rendah ini, *ZigBee* memang sengaja dirancang untuk komunikasi yang tidak membutuhkan kecepatan tinggi, misalnya pengontrolan informasi dari sensor. Ini didukung dengan kemampuan *ZigBee* yang dapat digunakan pada jaringan yang memiliki banyak node.

2.8.1 Arsitektur *ZigBee*

ZigBee memiliki arsitektur yang dirancang sesuai dengan standard IEEE 802.15.4. Arsitektur *ZigBee* terdiri dari beberapa lapisan atau bisa juga disebut dengan *layer*. Berikut lapisan atau layer yang ada pada *ZigBee* :

- a. *Physical Layer* (L ayer Fisik), merupakan komponen yang sangat penting dalam proses komunikasi antar perangkat. *Layer* ini biasanya digunakan untuk mengubah data logika menjadi bentuk yang sesuai untuk dikirimkan pada media transmisi yang digunakan. Juga sebagai *interface* (antarmuka) dan penentu kualitas dari sebuah komunikasi, sekaligus bertugas mensuplai berbagai macam informasi dari *layer* di atasnya.

- b. *Media Access Control (MAC) Layer*, layer ini digunakan untuk mengakses saluran yang digunakan. Dimana terdapat dua mekanisme untuk mengakses saluran, yaitu mode Beacon yang menggunakan teknik CSMA/CA dan mode non-Beacon yang menggunakan teknik non CSMA/CA.
- c. *Network Layer*, layer ini digunakan untuk mengatur jaringan, antara lain : konfigurasi perangkat, pengalamatan, penggabungan jaringan, sistem keamanan jaringan.
- d. *Application Layer*, pada aplikasi jaringan yang termasuk dalam lapisan ini adalah aplikasi processing, agregasi data, proses *query* data dari luar (*external querying*), dan database eksternal.

2.8.2 Topologi Jaringan ZigBee

a. Topologi Star

Pada topologi star komunikasi dilakukan antara perangkat dengan sebuah pusat pengontrol tunggal, disebut sebagai koordinator PAN (*Personal Area Network*). Aplikasi dari topologi ini bisa untuk otomasi rumah, perangkat *personal computer* (PC), serta mainan anak-anak. Setelah sebuah FFD (*Full-Function Devices*) diaktifkan untuk pertama kali maka ia akan membuat jaringannya sendiri dan menjadi koordinator PAN. Setiap jaringan *star* akan memilih sebuah pengenal PAN yang tidak sedang digunakan oleh jaringan lain didalam jangkauan radionya. Hal ini akan mengijinkan setiap jaringan *star* untuk bekerja secara tersendiri.

b. Topologi Mesh (*Peer to peer*)

Dalam topologi *peer to peer* juga hanya ada satu koordinator PAN. Berbeda dengan topologi star, setiap perangkat dapat berkomunikasi satu sama lain sepanjang ada dalam jarak jangkauannya. *Peer to peer* dapat berupa ad hoc, Self-organizing dan self healing. Penerapannya seperti pengaturan di industri dan pemantauan, jaringan sensor tanpa kabel,

pencarian aset dan inventory yang akan mendapat keuntungan dengan memakai topologi ini.

c. Topologi *Cluster Tree*

Cluster tree merupakan sebuah model khusus dari jaringan peer to peer dimana sebagian besar perangkatnya adalah FFD (*Full-Function Devices*) dan sebuah RFD (*Reduced-Function Devices*) mungkin terhubung ke jaringan *cluster tree* sebagai node tersendiri di akhir dari percabangan. Salah satu dari FFD (*Full-Function Devices*) dapat berlaku sebagai koordinator dan memberikan layanan sinkronisasi ke perangkat lain dan koordinator lain. Hanya satu dari koordinator ini adalah koordinator PAN.

2.8.3 Perangkat Zigbee

XBee Pro adalah salah satu perangkat yang menggunakan Zigbee/IEEE 802.15.4 sebagai protokolnya. XBee Pro merupakan sebuah modul berstandar IEEE 802.15.4 yang dirancang untuk komunikasi tanpa kabel dengan band frekuensi 2,4 GHz. Yang dilengkapi dengan antena pemancar. Salah satu keunggulan XBee Pro ini adalah konsumsi daya yang sangat rendah, sehingga memiliki *lifetime* yang sangat lama. Arsitektur fisik XBee Pro dirancang sedemikian rupa agar dapat ditempatkan pada sebuah socket, sehingga tidak perlu ditempatkan langsung pada papan pengerjaan perangkat. Perangkat Xbee Pro secara fisik seperti pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Perangkat Xbee-Pro

Transceiver XBee/XBee-Pro adalah sebuah *transceiver* yang dapat mendukung ZigBee *wireless standard* dalam penggunaannya. XBee *module* mempunyai dua mode operasi yaitu:

1. *Transparent serial port mode*. Pengiriman data dari sensor ke *modul* XBee melalui *serial port*, kemudian XBee *module* mengirimkan data ke *module* XBee lainnya secara *wireless*.
2. *Packet mode*. Pengiriman pesan ke *module* XBee itu sendiri. Terdapat dua macam *packet mode*, yaitu *IO packet* dan *command packet*.

2.9 Parameter Kinerja *Wireless Sensor Network*

Ada beberapa parameter-parameter yang sering digunakan dalam melakukan analisis kinerja dari *wireless sensor network* yaitu antara lain Jangkauan Maksimum Transmisi, *Throughput*, dan *Delay*.

a. Jarak Jangkauan Transmisi

Jarak jangkauan transmisi diukur berdasarkan jarak terjauh dari peletakan *sensor node* untuk dapat mentransmisikan data dengan baik ke *server node*.

b. *Delay*

End-to-end delay adalah jumlah waktu yang digunakan oleh sebuah paket ketika dikirim oleh sebuah *node* dan diterima di *node* tujuan. *End-to-*

end delay merupakan dari waktu pengiriman, propagasi, proses dan antrian dari suatu paket pada setiap *node* di jaringan.

Faktor utama yang mempengaruhi *end-to-end* delay adalah waktu untuk menemukan route. Hal ini berguna sebelum pesan yang akan dikirim, *node (source)* harus tahu terlebih dahulu jalur atau rute untuk mencapai tujuan (*destination*). Faktor lain yang mempengaruhi *end-to-end* delay adalah delay proses. Ketika *node* yang ditengah (*via node*) menerima sebuah pesan, *node* tersebut harus menganalisa header untuk mengetahui untuk siapa paket ditujukan dan kemudian mengecek *node* untuk menentukan kemana harus meneruskan paket tersebut.

Mengurangi *delay* pada tiap *node* yang melibatkan prosedur routing akan mengurangi *delay* pada *end to end*. Delay pada tiap *node* meliputi: radio access delay, antrian setiap *node*, waktu transmisi melalui udara, waktu transmisi antara dua *node* bisa saja mengalami kegagalan. Untuk menginisialisasi pesan data dari *node-node* tersebut, pencarian posisi menjadi sangat penting, namun sekaligus menaikkan total *delay*.

Dalam paket radio *delay* atau lama proses pengiriman data tidak hanya ditentukan oleh bit rate-nya, akan tetapi juga berhubungan dengan *delay* yang muncul pada terminal/interface jaringannya (*codec delay*), dan ditambah dengan *delay* propagasi sinyal digital dari sumber ke tujuan. Hal ini ditentukan oleh jarak antar peralatan komunikasi dan kecepatan propagasi sinyal sepanjang media transmisi. Sebagai contoh untuk *free space* idealnya kecepatan sinyal adalah sama dengan kecepatan cahaya 3×10^8 m/s, akan tetapi untuk penggunaan di media fisik (misal: *coaxial*, *twisted-pair*) kecepatannya adalah 2×10^8 m/s. Untuk *end to end delay* dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.4.

$$\Delta t = t_t - t_0 \quad (2.4)$$

Dengan $\Delta t = \text{End-to-end delay}$, $t_t = \text{Waktu terima}$, $t_0 = \text{Waktu kirim}$.

c. *Throughput*

Throughput (pesan/detik) adalah jumlah total paket data yang berhasil dikirim dibagi total waktu pengiriman (Dierdonck, 2006). Secara matematis dituliskan pada persamaan 2.5.

$$\eta = \frac{N}{\tau} \times 8 \quad (bps) \quad (2.5)$$

Dengan η = Troughput, N = Total paket data yang diterima, τ = Total waktu untuk transmisi.

2.9 Propagasi Gelombang Radio

Berdasarkan jenisnya, propagasi gelombang radio dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu propagasi dalam ruang (*Indoor*) dan propagasi luar ruang (*Outdoor*). Propagasi luar ruang dipengaruhi oleh kondisi ataupun luasnya suatu area khususnya bangunan atau gedung-gedung yang berada disekitarnya. Mekanisame dasar propagasi dikelompokkan menjadi empat (Rapaport, 2002), yaitu :

1. *Refleksi* (Pemantulan) t erjadi apabila gelombang elektromagnetik berpropagasi mengenai dasar sebuah objek mengalami pantulan.
2. *Refraksi* (Pembiasan) merupakan proses pemencaran atau pembelokan gelombang elektromagnetik.
3. *Difraksi* terjadi saat lintasan dari gelombang elektomagnetik yang berpropagasi dihalangi oleh permukaan obyek yang tidak teratur (tajam, kecil) yaitu sehingga seolah-olah menghasilkan sumber sekunder.
4. *Scattering* (Penghamburan) terjadi dikarenakan saat perambatan sinyal terhalang oleh media yang kasar atau mempunyai bentuk yang tajam. Peristiwa scattering menyebabkan gelombang elektromagnetik dihamburkan dan terpecah-pecah menjadi beberapa sinyal.

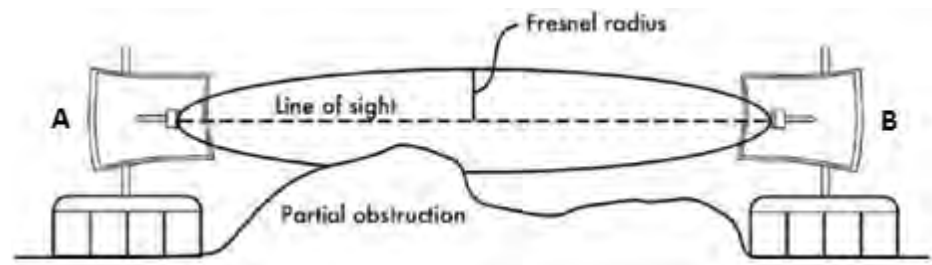
Pada sistem komunikasi nirkabel terdapat dua jenis transmisi sinyal dalam perambatan gelombangnya, yaitu *Line of Sight* (LOS) dan *Non Line of Sight* (NLOS) (Tse, Pramod, 2009).

2.9.1 *Line of Sight* (LOS)

Line of Sight (LOS) merupakan perambatan gelombang radio dari antena pemancar ke antena penerima tanpa adanya hambatan (*obstacle*) karena proses perambatan sinyalnya terjadi secara langsung (*direct path*) dan pada satu lintasan (*single path*). Komunikasi radio dikatakan dalam kondisi LOS jika:

- Garis lurus yang bebas dari apapun yang akan menghalangi pandangan, meskipun sebenarnya jarak ini terlalu jauh untuk dilihat dengan mata manusia.
- Virtual LOS merupakan pandangan garis lurus menembus material penghalang, sehingga menyebabkan transmisi gelombang radio masih dapat dideteksi/diterima.

Jika kita dapat melihat titik B dari titik A tidak ada penghalang antara A dan B, maka kita mempunyai *Line of Sight*. Konsep *Line of Sight* menjadi lebih kompleks jika menggunakan gelombang mikro. Sebagian besar karakteristik perambatan/propagasi gelombang elektromagnetik tergantung pada panjang gelombangnya. Jari-jari pancaran akan bertambah dengan semakin jauhnya jarak yang ditempuh, jadi *Line of Sight* yang dibutuhkan agar dapat terjadi sambungan wireless yang optimal antara A dan B sebetulnya lebih dari sekedar garis lurus yang tipis, tapi lebih berbentuk cerutu, atau sebuah elips. Lebar cerutu/elips tersebut di kenal sebagai konsep *fresnel zone*, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Ilustrasi *fresnel zone*

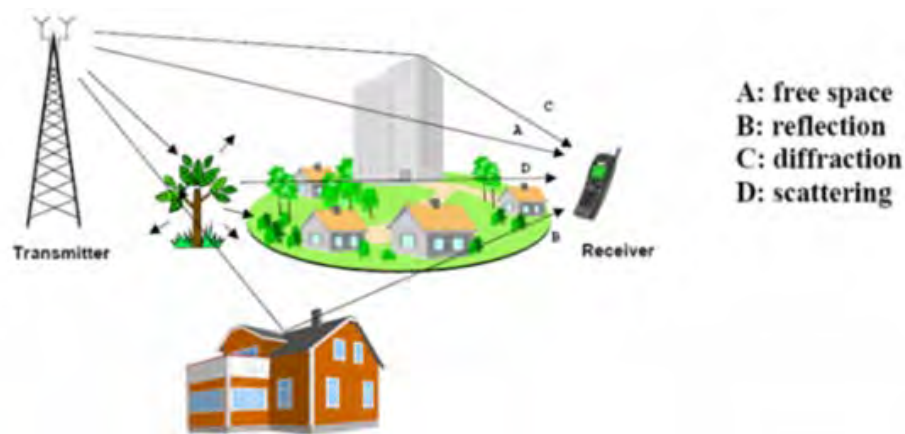
Teori *Fresnel Zone* melihat garis lurus antara A dan B, dan ruang di sekitar garis lurus tersebut untuk melihat apa yang akan terjadi pada saat sinyal sampai di B. Beberapa gelombang akan merambat langsung dari A ke B, beberapa lainnya akan merambat keluar garis lurus. Akibatnya jalur yang di tempuh menjadi lebih panjang, hal ini menimbulkan perbedaan fasa antara sinyal yang langsung dengan yang tidak langsung. Pada saat terjadi perbedaan fasa terjadi interferensi konstruktur, dimana pada dasarnya sinyal akan bertambah. Melihat kondisi ini dan data hasil perhitungan akan didapat adanya daerah lingkaran sekitar garis lurus antara A dan B yang akan berkontribusi terhadap sinyal yang tiba di B.

Pada *Fresnel Zone*, tidak boleh adanya suatu gangguan sinyal transmisi karena hal tersebut akan mengakibatkan refraksi sehingga akhirnya akan menlemahkan sinyal yang akan diterima Rx. *Fresnel Zone* dibuat beberapa tingkat, yang mana boleh adanya *obstacle* (penghalang).

Suatu sinyal transmisi secara consensus dikatakan baik jika $60\% + 3\text{m}$ dari *Fresnel Zone* tidak ada penghalang. Misal : Suatu TX dengan frekuensi sebesar 15 GHz dengan jarak TX-RX 2 Km. Maka *Fresnel Zone* dapat dihitung $r = 17.32 \cdot \sqrt{d/4f}$ sehingga dihasilkan hasil r sebesar 3.1632 m. Dan transmisi yang baik jika $60\% \cdot 3.1632 + 3$ (4.89792) m *Fresnel Zone* bebas dari halangan.

2.9.2 Non Line of Sight (NLOS)

Non Line of Sight (NLOS) adalah perambatan gelombang radio yang merambat dari antena pemancar ke antena penerima melalui banyak jalur (*multipath*). Hal ini dikarenakan sinyal radio tersebut melewati free space (atmosfer) ataupun penghalang lain seperti pohon, gedung, dan gunung, sehingga sinyal yang dikirimkan pada kondisi NLOS akan mengalami pemantulan (*reflections*), pemencaran (*scattering*), dan pembiasan (*diffractions*) saat terjadinya proses propagasi sehingga dapat menyebabkan *fading*. Seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.6.



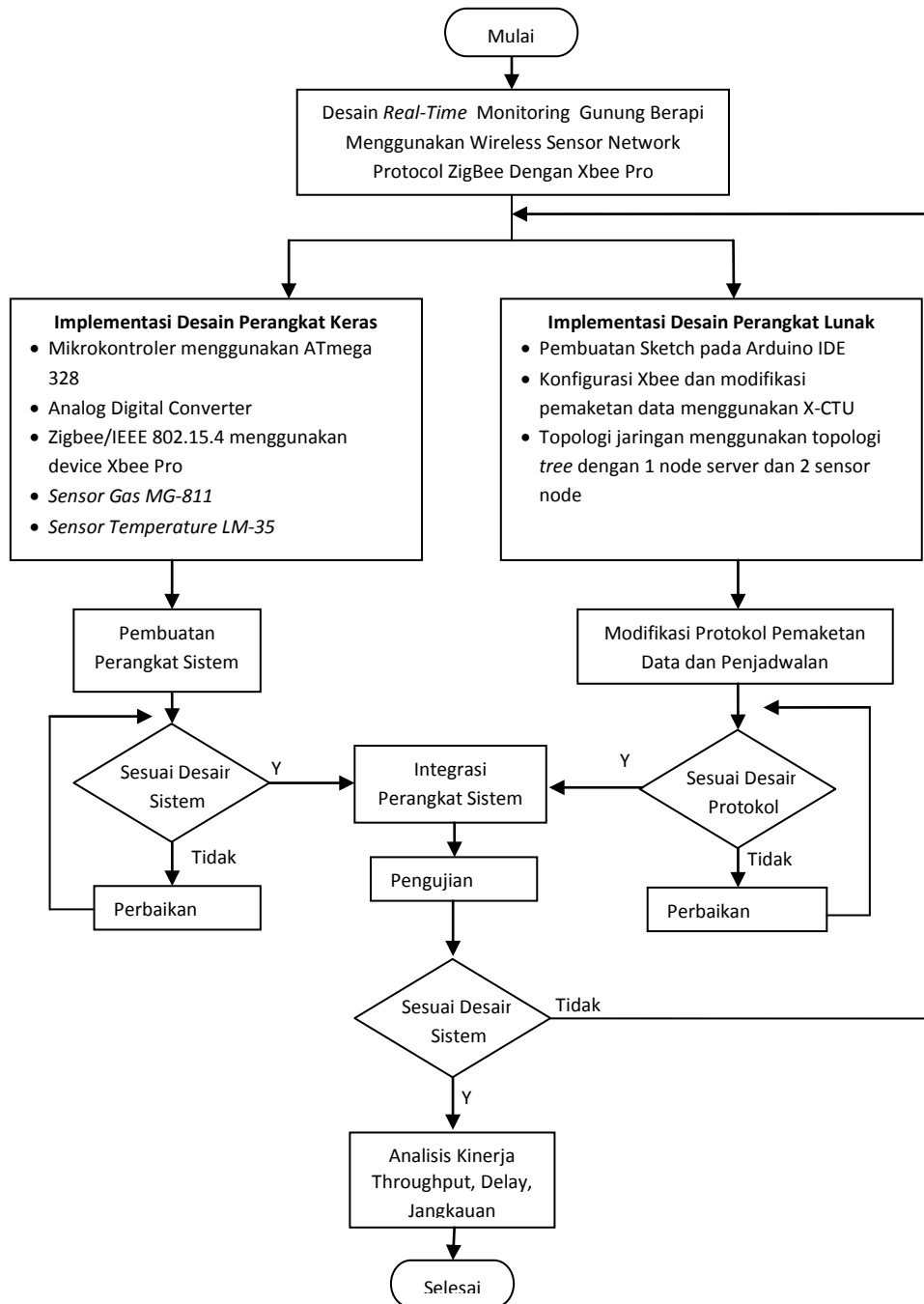
Gambar 2.10 *Multipath Fading* (Titis, 2001)

Fading merupakan gangguan pada sinyal yang menyebabkan penurunan daya sinyal yang diterima sehingga kondisi sinyal tidak dapat dikenali lagi (*error*). Sinyal yang akan diterima merupakan gabungan dari *direct path*, *multiple reflected paths*, *scattered energy*, dan *diffracted propagation paths*. Kondisi *multipath* ini akan memberikan perbedaan polarisasi, redaman, *delay* pancaran, dan ketidakstabilan dibandingkan dengan sinyal yang diterima secara langsung melalui *direct path*.

BAB 3

METODE PENELITIAN

Berikut adalah *Flowchart* metodologi pada penelitian ini dapat dilihat secara keseluruhan seperti pada Gambar 3.1

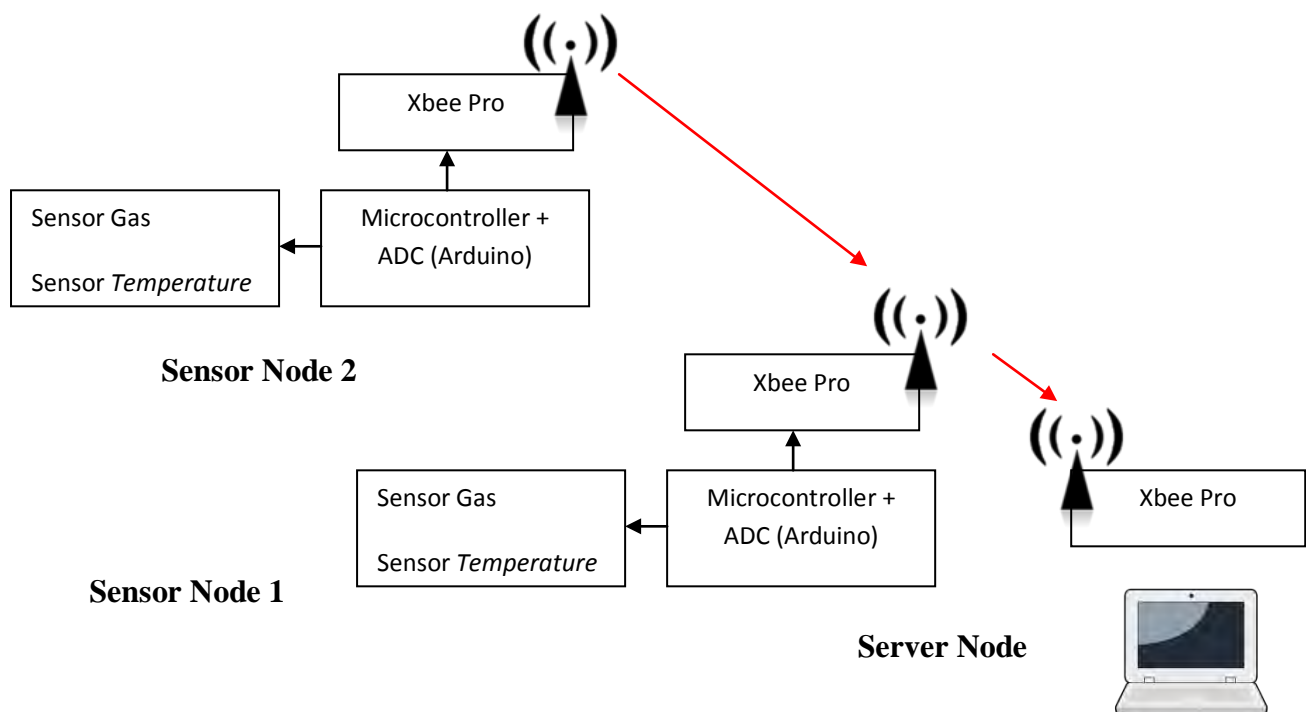


Gambar 3.1 Diagram Alir Rancangan Penelitian

Flowchart penelitian ini dimulai dengan perancangan *hardware* berupa penggunaan sensor, ADC, dan protokol yang digunakan dalam komunikasi *wireless*. Kemudian dilanjutkan dengan perancangan pengiriman paket data serta penjadwalan pengiriman data dari *end device* yang sesuai dengan kebutuhan monitoring gunung berapi saat ini.

3.1 Perancangan *Wireless Sensor Network*

Untuk perancangan *Wireless Sensor Network* pada *Real-Time Monitoring* Gunungapi ini meliputi perancangan *hardware* dan *software* untuk protokol komunikasi data. Untuk perancangan *Wireless Sensor Network* akan menggunakan topologi jaring *tree*. Untuk gambaran perancangan untuk *Wireless Sensor Network* dapat dilihat secara detail seperti pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Arsitektur *Real-Time Monitoring* Gunungapi dengan WSN

Pada perancangan penelitian ini akan digunakan 3 node yang terdiri atas 2 node yang berfungsi sebagai *sensor node* dan 1 node sebagai *server node*. Pada Masing-masing sensor node akan dipasangkan sensor gas MG-811 sebagai sensor

Carbon Dioxide dan *Sensor Temperature LM-35*. Sehingga akan terdapat 2 node yang mengirimkan ke *Server Node*. Untuk jarak antara *Sensor Node 1* dan *Sensor Node 2* adalah sejauh 15 meter sedangkan untuk jarak *Sensor Node 1* dengan *Server Node* adalah sejauh 100 meter.

3.2 Perancangan *Hardware*

Dalam penelitian ini *hardware* yang akan digunakan dalam *Wireless Sensor Network* di *Real-Time Monitoring Gunungapi* antara lain : *Sensor Node* akan terdiri atas Mikrokontroller Arduino, *Wireless IEEE 802.15.4/Zigbee*, kemudian digunakan juga *Sensor Gas MG-811* sebagai *Sensor Gas Carbon Dioxide*, *Sensor LM-35* sebagai *Sensor Temperature*. Pengkondisian sinyal serta *Server Node* yang terdiri atas terminal komunikasi data *Tranciever*.

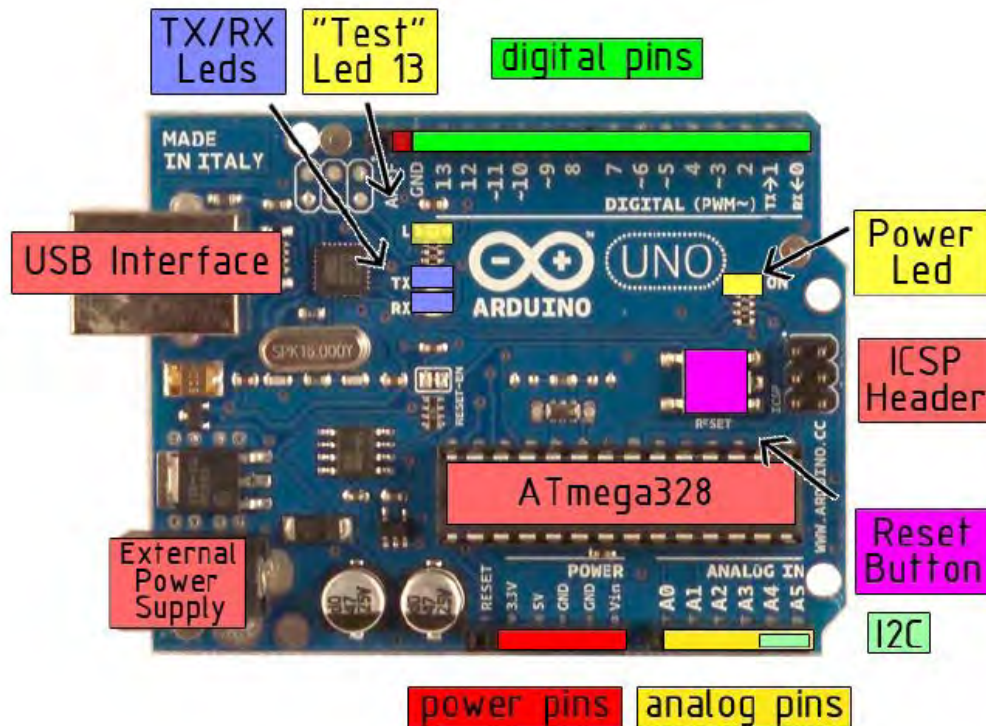
3.2.1 *Sensor Node*

Untuk *hardware Sensor Node* dalam penelitian ini menggunakan *Microcontoller* Arduino UNO yang berbasis *Atmega328* yang memiliki fitur 14 pin yang digunakan sebagai input atau output (dimana 6 di antaran dapat digunakan sebagai *PWM Output*), 6 *Analaog Input*, 16 *MHz Crsital Oscilator*, Sebuah *Koneksi USB*, *Power Jack*, *ICSP Header*, dan sebuah tombol reset. *Microcontoller* Arduino UNO disinivakan bertindak sebagai pemproses data. Untuk spesifikasi teknis Arduino UNO dapat dilihat seperti pada Tabel 3.1. Sedangkan untuk penampakan board dari Arduino dapat dilihat pada Gambar 3.3

Tabel 3.1. Spesifikasi Arduino UNO

Spesifikasi	Nilai
Microcontroller	Atmega328
Opertaing Voltage	5 V
Input Voltage	7-12 V
Input Voltage (Limit)	6-20 V
Digital I/O Pins	14 Pins (6, PWM Output)
Analog Pins	6

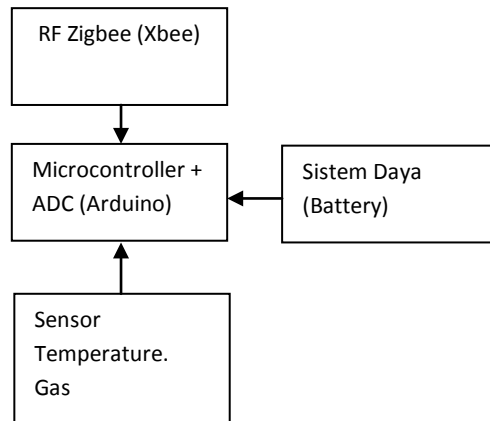
Spesifikasi	Nilai
DC Current per I/O	40 mA / 60 mA
Flash Memory/ SRAM /EEPROM	32 kb dari 0.5 yang digunakan bootloader / 2 Kb / 1 Kb
Clockspeed	16 MHz



Gambar 3.3 Board Arduino UNO

Kemudian untuk terminal komunikasi data akan terhubung dengan radio komunikasi Xbee Pro. Radio komunikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah IEEE 802.15.4/Zigbee dengan Xbee Pro dengan Spesifikasi yang dapat dilihat pada tabel 3.2. Yang menjadi salah satu unggulan yang dimiliki oleh Xbee Pro adalah penggunaan konsumsi daya yang rendah dengan jangkauan yang cukup jauh.

Untuk bentuk detail dari perancangan *Sensor Node* dapat dilihat pada seperti Gambar 3. 4



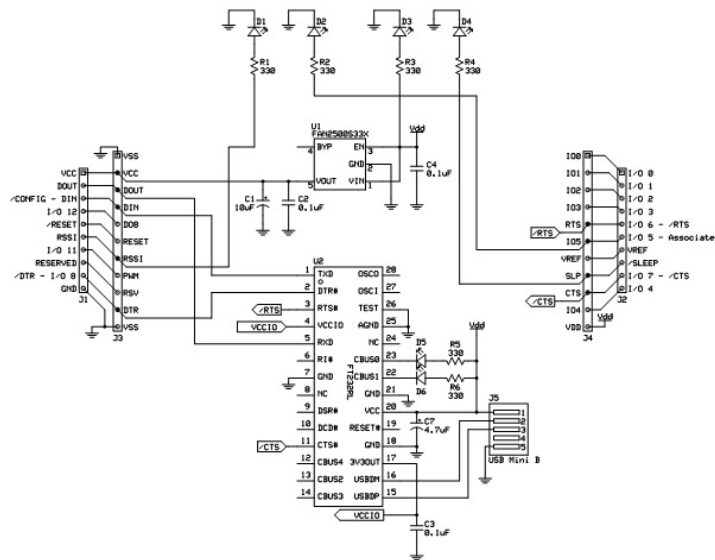
Gambar 3.4 Diagram *Sensor Node*

Tabel 3.2. Fitur Spesifikasi *Xbee pro*

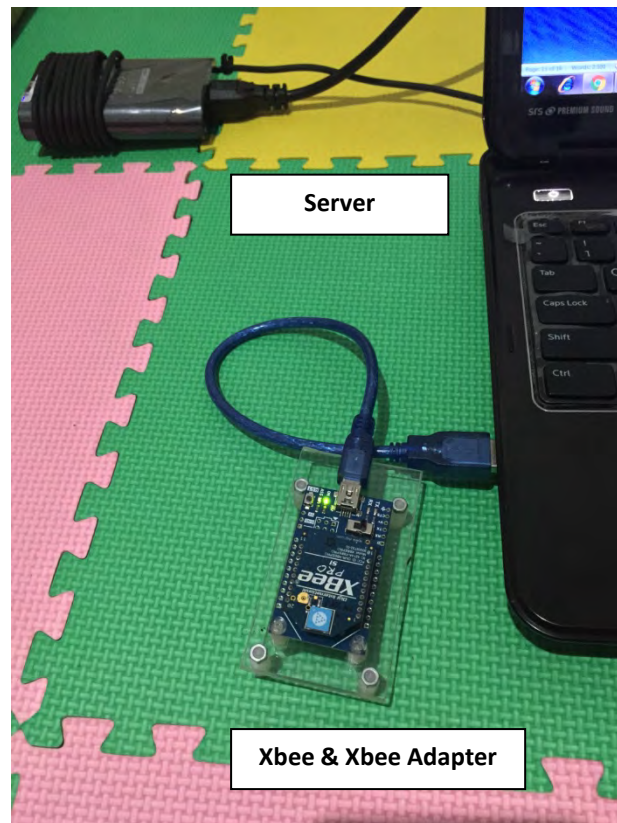
Spesifikasi	Nilai
Frekuensi Pembawa	ISM 2.4 GHz
Antarmuka	RS232
Data Rate	250 kbps
Sensitivitas Penerima	-100 dBm
Modulasi	DSSS
Catu Daya	2.8 – 5 V/55 mA DC

3.2.2 *Server Node*

Untuk *Server Node* dalam penelitian ini akan menggunakan PC. Server node akan terhubung dengan Xbee Pro dengan menggunakan terminal komunikasi data dari UART *Xbee Pro* ke Port USB PC. Pada penelitian ini digunakan adapter dengan tipe parallax dengan rangkaian skematik yang dapat dilihat seperti pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Rangkaian Adapter *Xbee Pro* di Server Node



Gambar 3.5 Server Node

3.2.3 Perancangan Sensor dan Analog Digital Converter (ADC)

Analog Digital Converter mikrokontroler berfungsi untuk mengubah data sensing dari sensor menjadi digital. Untuk penelitian ini, ADC yang digunakan akan menggunakan resolusi 8 bit untuk data dari *sensor temperature* LM-35. Perencanaan ADC pada penelitian ini hanya menggunakan satu resolusi yaitu resolusi sebesar 8 bit baik itu untuk sensor *temperature* maupun sensor gas. Resolusi ADC yang ada pada Mikrokontroler Arduino dapat dirubah sesuai dengan kebutuhan, yaitu apabila digunakan resolusi sebesar 8 bit maka akan memiliki nilai digital dari range 0 sampai dengan 255. Untuk Perhitungan besarnya nilai resolusi pada ADC dapat dihitung dengan persamaan 3.1 :

$$\text{Resolusi 8 bit} = \frac{\text{tegangan referensi}}{8 \text{ bit ADC}} = \frac{5}{255} = 0.019 \text{ V} \quad (3.1)$$

Dari Persamaan 3.1 dan diketahui bahwa besarnya nilai ketika data tersebut berbentuk 8 bit akan memiliki hasil sebesar 0.019 Volt. Untuk penelitian ini hanya akan digunakan 2 buah sensor yaitu sensor gas dan sensor temperature. Sensor Gas yang digunakan adalah Sensor Gas MG-811 yang dapat berfungsi untuk mengukur kadar konsentrasi CO_2 atau *Carbon Dioxide*. Untuk bentuk fisik dari Sensor Gas *Carbon Dioxide* MG-811 dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.6 Sensor Gas MG-811

Sedangkan, untuk Sensor temperature yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *Sensor Temperature* LM-35 dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel suhu yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor LM35.IC LM35 memiliki keakuratan tinggi dan kemudahan perancangan serta memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu 10 mVolt/°C, sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam *celcius*. Gambar 3.6 menunjukkan bentuk fisik IC LM 35.

Gambar 3.7 Bentuk Fisik Sensor Temperature LM-35

3.3 Modifikasi Penjadwalan Pengiriman Data dalam *Real Time Monitoring* Gunungapi

Start byte (1 byte)	Alamat Sensor dan Jenis Sensor (2 byte)	Data Monitoring (1-8 byte)	Stop byte (1 byte)
------------------------	--	-------------------------------	-----------------------

Gambar 3.8 Format Protokol Pemaketan Data Sensor Node

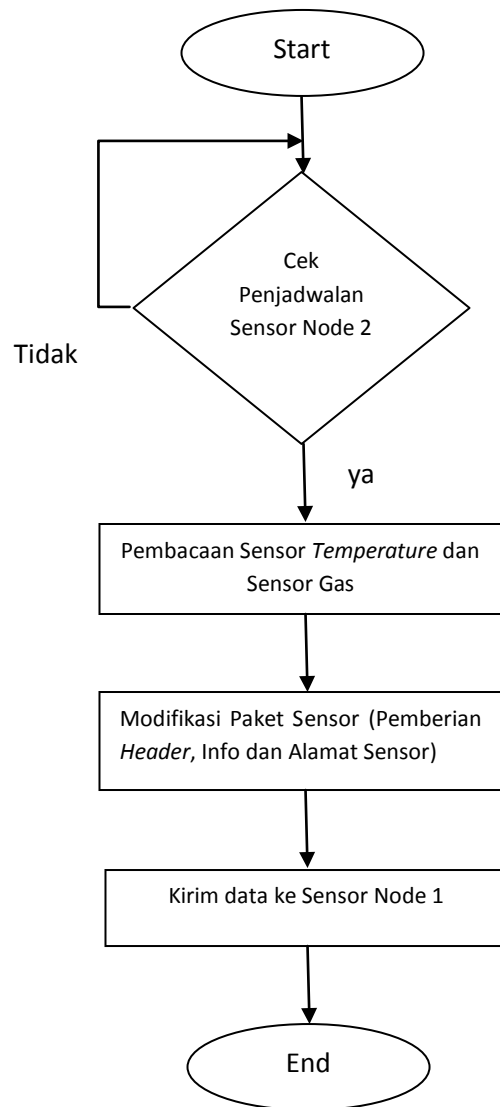
Keterangan :

- Start byte = simbol @ (1 byte)
- Alamat Sensor dan jenis Sensor= terdiri atas 3 digit angka dimana : digit pertama dan kedua menunjukkan alamat sensor, digit ketiga menunjukkan jenis sensor(1=sensor gas; 2=sensor suhu)
contoh : 011 → letak di node1 dengan paket data jenis sensor accelerometer
- Data Monitoring = Gas (8 byte), Suhu (2 byte)
- Stop byte= simbol # (1 byte)

Dalam perancangan *Real-Time Monitoring* Gunungapi ini menggunakan teknik penjadwalan waktu untuk menyesuaikan kebutuhan akan data sensor yang dibutuhkan dalam proses monitoring gunungapi. Teknik penjadwalan yang dilakukan dalam penelitian ini berbasis penjadwalan waktu pengiriman tiap sensor node sensor ke server node. Dalam penelitian ini terdapat 2 *Sensor Node* dan 1 *Server Node*. Dimana masing-masing Sensor Node menggunakan Sensor Gas *Carbon Dioxide* dan *Sensor Temperature* tapi peletakan di area monitoring yang berbeda.

Sistem penjadwalan pada penelitian ini, *Sensor Node 1* dengan sensor *temperature* mengirimkan data sensor ke *Server Node* setiap 1 jam dengan durasi/lama pengukuran 15 menit sehingga jika dioperasikan selama 24 jam maka dalam sehari node sensor 1 akan mengirimkan data ke node server sebanyak 24 kali. Sedangkan, pada Node Sensor 2 akan dikirimkan data gas dan *temperature* yang akan mengirimkan data sensor ke server tiap satu (1) jam dengan durasi/lama pengukuran 10 detik sehingga jika dioperasikan selama 24 jam maka dalam sehari *Sensor Node 2* akan mengirimkan data ke *Server Node* sebanyak 24 kali.

Sistem pengiriman data pada *Sensor Node 2* dilakukan dengan *multihop/dual hop* melewati node 1. Sepengirimana node sensor 1 ke node server dilakukan dengan *single hop*. Alur proses pengiriman pada node 1 dapat dilihat pada Gambar 3.8



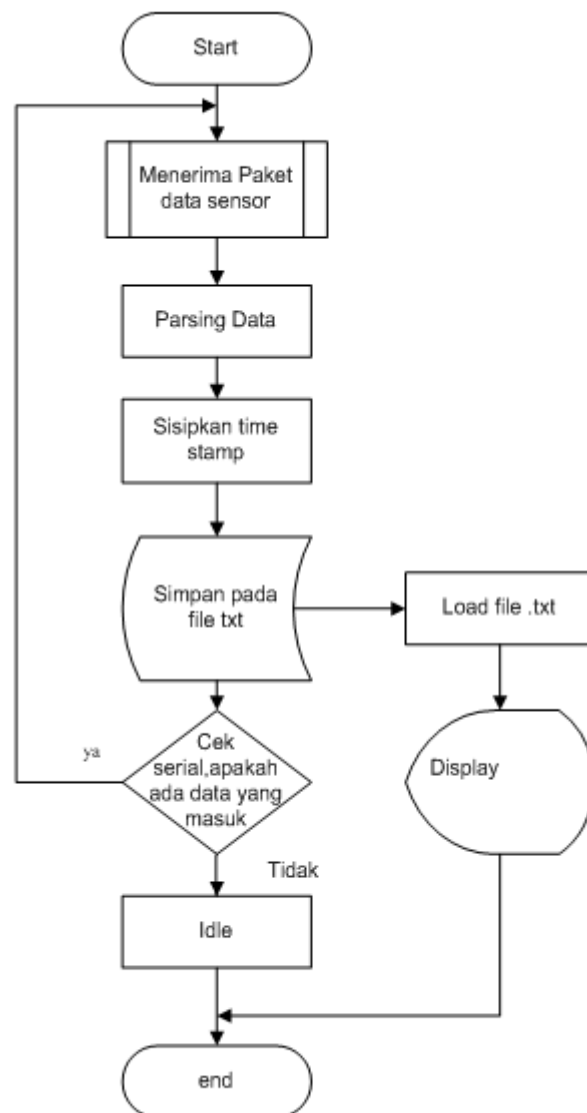
Gambar 3.9 *Flowchart* Pengiriman Data pada Sensor Node 2

Sistem pengiriman data pada *Sensor Node 2* ini berdasarkan sistem penjadwalan yang sudah diprogram/embed secara otomatis pada *microntoller* sensor node node 2. Dimana pada sistem *Sensor Node 2* akan selalu mengecek waktu kirim data sensor ke *Sensor Node 1*. Alur proses pengiriman data pada *Sensor Node 2* seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.10 Flowchart pada Sensor Node 1

Pada Gambar 3.10 menunjukkan mekanisme dari *Sensor Node 1* dalam mengirimkan data dan kemudian merutekan data dari Sensor Node 2 kemudian ke node server. Pada proses pada awalnya ini terdapat proses pengecekan penjadwalan pengiriman dan pengecekan adanya data yang masuk dari *Sensor Node 2* untuk dikirimkan ke node server, Jika ada data yang masuk pada *Sensor Node 1*. Maka *Sensor Node 1* akan mempaketisasi lagi dan jika pada saat tersebut bersamaan dengan Sensor node 1 mengirimkan datanya sendiri. Maka selanjutnya *Sensor Node 1* akan mengirimkan data dari *Sensor Node 2* dan *Sensor Node 1* kedalam bentuk 1 paket data.



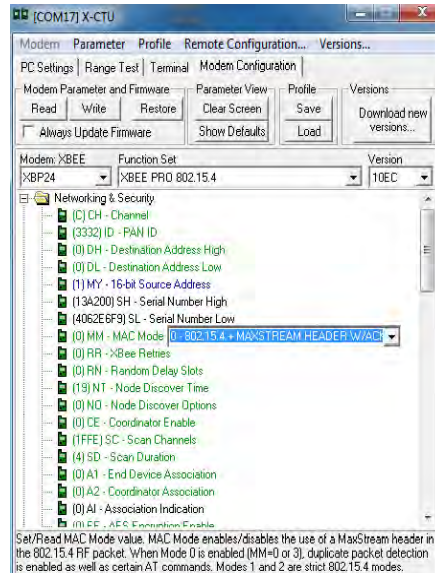
Gambar 3.11 Flowchart Penerimaan Data pada *Server Node*

Pada Gambar 3.11 menjelaskan alur proses penerimaan data di *node server*, kemudian *node server* menerima dari sensor node 1 dan menerima data dari node sensor 2 melalui node sensor 1. Data yang diterima oleh node server melalui *interface* serial kemudian dipisahkan/*parsing* data untuk memisahkan data sensor dengan *header* nya dan menyimpan data tersebut dalam file *.txt.

3.4 Sistem Pengalamatan Node

Salah satu produk yang ada yang menggunakan protokol IEEE 802.15.4/Zigbee adalah Xbee Pro dengan menggunakan software XCTU dapat

merubah setting mode *physical*, MAC ataupun network protokol standar IEEE 802.15.4 pada Xbee Pro. Tampilan dari *software* XCTU yang merupakan platform dari Xbee Pro, dapat dilihat seperti pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Setting Mode Xbee Pro

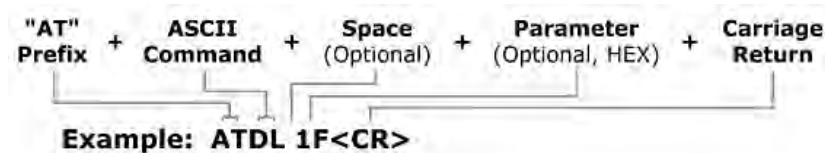
Untuk proses komunikasi Xbee Pro telah menyediakan beberapa mode pengalamatannya. Selain itu dalam perangkat Xbee Pro, Perangkat jaringan yang akan mengirimkan frame data ke *PAN coordinator* akan menggunakan mekanisme CSMA/CA. Salah satu mode pengalamatan yang disediakan dalam Xbee Pro adalah Mode *Short 16 bit Addressing*. Mode pengalamatan ini memiliki beberapa parameter yaitu :

1. MY, berfungsi sebagai alamat diri dari setiap modul wireless RF
2. DL, berfungsi alamat tujuan modul wireless RF untuk berkomunikasi
3. CH, merupakan channel dimana komunikasi RF terjalin
4. ID, merupakan alamat PAN (*Personal Area Networking*) ID dari modul RF

Untuk penggunaan mode pengalamatan *short 16 bit addressing* akan menyebabkan hanya modul wireless RF yang spesifik saja yang memiliki alamat MY yang sama dengan alamat DL modul wireless RF yang lain dapat berkomunikasi sehingga modul wireless RF yang lain tidak dapat berkomunikasi. Untuk pengaturan parameter-parameter pada modul wireless

RF dilakukan dengan menggunakan AT Command. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan AT Command adalah :

1. Untuk membuka AT Command mode kirim 3 character plus ("+++") dalam waktu kurang dari 1 detik
2. Untuk mengirim AT Command gunakan aturan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Aturan Penulisan AT Command

3. Untuk pembacaan parameter biarkan parameter kosong Jika AT Command sukses dikirimkan dan dieksekusi maka akan ada respon OK (untuk pengaturan) atau nilai parameter (untuk pembacaan)
4. Untuk menyimpan parameter konfigurasi kirim ATWR < CR>
5. Selanjutnya untuk menutup AT Command mode kirim ATCN

Untuk sistem pengalamatan tiap node sensor dan node server pada penelitian ini akan menggunakan system pengalamatan node seperti ditunjukkan pada Tabel 3.3, Dimana sistem pengalamatan ini akan membuat *Sensor Node 2* hanya bisa mengirimkan data ke *Sensor Node 1*, Baru kemudian data yang ada di *Sensor Node 1* dan *Sensor Node 2* dilanjutkan dirutekan ke *Server Node*.

Tabel 3.3 Sistem Pengalamatan Node

Nama Node	MY	DL	ID
Node server	1	2	1
Node sensor 1	2	1	1
Node sensor 2	3	2	1

3.5 Rancangan Pengujian Sistem

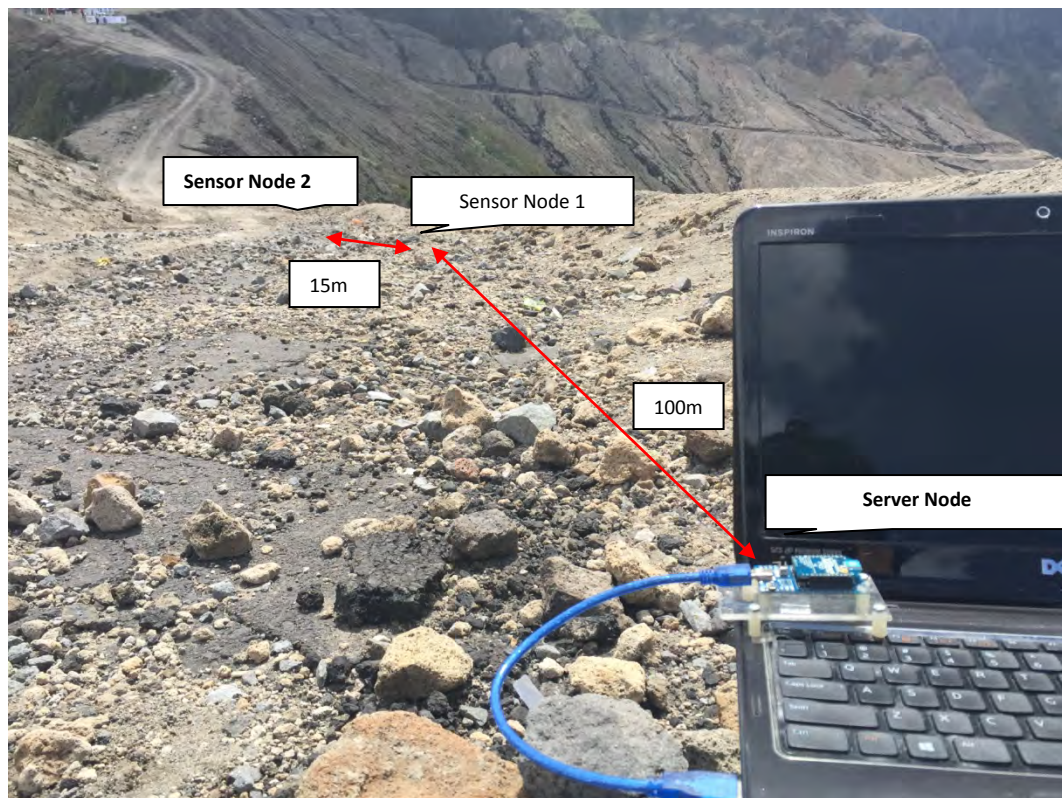
Untuk skenario pengujian sistem real-time monitoring gunungapi dilakukan pada kondisi objek penelitian yaitu kawasan Gunung Kelud, Jawa Timur. Dan dalam pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini akan menggunakan topologi jaringan yang akan digunakan pada pengukuran adalah topologi *tree*. skenario yang digunakan sebagai desain jaringan adalah *single-sink multi-hop wsn*, yaitu menggunakan satu *pan coordinator* atau *node server* dan dua *node sensor*. Proses ini dirancang dengan masing-masing *node* akan mengirimkan data hasil proses pengukurannya secara otomatis sesuai dengan penjadwalan.

Pada penelitian ini node yang digunakan adalah satu *Server Node* dan dua 2 *Sensor Node* dimana masing-masing Sensor Node menggunakan *Sensor Gas* dan *Sensor Temperature*.



Dokumentasi PVMBG

Gambar 3.14 Area Sekitar Kawah Gunung Kelud



Gambar 3.15 Skenario Pengukuran di Sekitaran Kawah Gunung Kelud

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.15 Untuk *Sensor Node 2* akan diletakan di sekitar 150 meter dari Kawah Gunung Kelud dikarenakan dibatasinya area setelah terjadinya erupsi pada tahu 2014. Sedangkan untuk *Sensor Node 2* diberikan jarak sekitar 15 meter kemudian untuk jarak *Sensor Node 2* diberikan kurang lebih 100 meter.

3.6 Perhitungan Performansi dan Analisis *Wireless Sensor Network*

Perhitungan performansi serta analisis *Wireless Sensor Network* dilakukan untuk mengetahui apakah jaringan yang dibuat mampu memberikan hasil sesuai dengan yang direncanakan. Analisis didasarkan pada kondisi objek dengan menggunakan Sensor Gas dan *Temperature* di lingkungan kawasan Gunung Kelud. Performansi jaringan yang dianalisis adalah *throughput*, *delay* dan jangkauan transmisi.

a. *Delay*

End-to-end delay adalah jumlah waktu yang digunakan oleh sebuah paket ketika dikirim oleh sebuah *node* dan diterima di *node* tujuan. secara matematis dituliskan pada Persamaan 3.8.

$$\Delta t = t_t - t_0 \quad (3.8)$$

Dengan Δt = End-to-end delay, t_t = Waktu terima, t_0 = Waktu kirim

b. *Throughput*

Throughput (pesan/detik) adalah jumlah total paket data yang dikirim dibagi waktu durasi. Secara matematis dituliskan pada Persamaan 3.9.

$$\eta = \frac{N}{\tau} \times 8 \quad (bps) \quad (3.9)$$

Dengan N = Paket data, η = Throughput, τ = Total waktu untuk transmisi

c. *Jangkauan Transmisi*

Jangkauan transmisi dalam penelitian ini adalah kemampuan perangkat Xbee pro/zigbee dalam mengirimkan data ke node server/base station yang diterima tidak dalam kondisi *error* baik itu dalam kondisi LOS dan NLOS.

d. *Konsumsi Arus*

Pengujian Konsumsi Arus ditujukan untuk mengetahui konsumsi arus di node sensor yang nantinya dihubungkan dengan parameter lama pemakaian node sensor dalam beroperasi.

[HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN]

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab 4 ini akan membahas mengenai proses pelaksanaan pengujian sesuai dengan metode dan skenario yang dijelaskan pada Bab 3. Sedangkan, untuk pengujian pertama adalah implementasi sistem. Pengujian pada implementasi sistem adalah untuk mengetahui keberhasilan sistem *wireless sensor network* yang telah dibuat.

4.1 Implementasi dan Pengujian Sistem

Implementasi dan pengujian pada sistem dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang dibuat sesuai dengan perencanaan dan perancangan awal sistem.

4.1.1 Perhitungan secara Teoritis

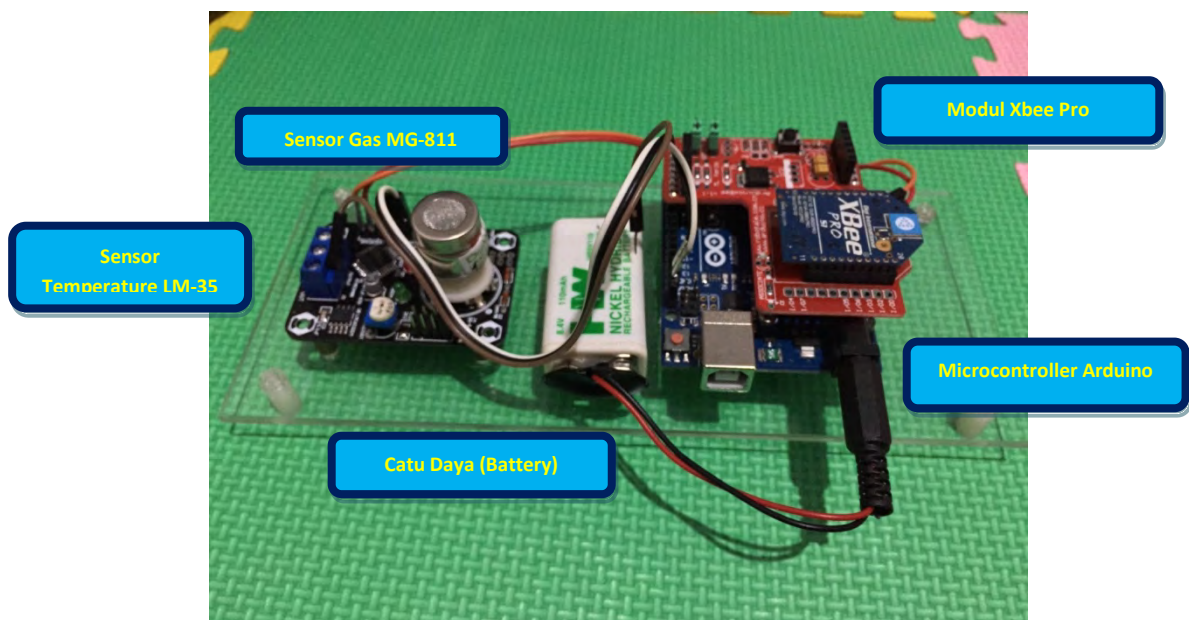
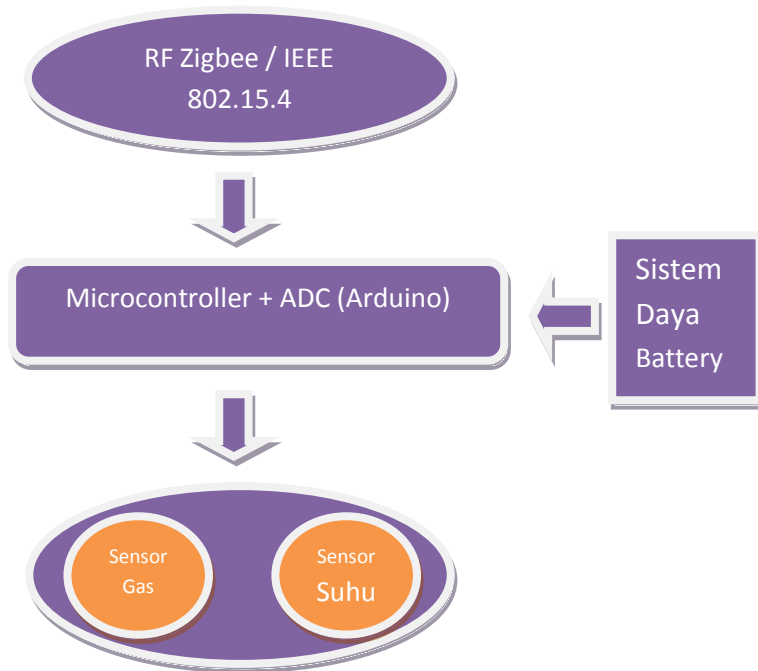
Sebelum melakukan pengujian terhadap sistem, terlebih dahulu dilakukan perhitungan matematis untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data berdasarkan teori yang ada, yaitu karena data yang akan dikirimkan berupa karakter maka dilakukan perhitungan pengiriman data per karakter dengan bitrate dengan menggunakan Xbee Pro dengan Baudrate sebesar 9600 B ps maka akan dibutuhkan $t = \frac{\text{panjang karakter}}{\text{baudrate}} = \frac{1}{9600} = 0,104 \text{ ms}$. Jadi, untuk mengirimkan satu karakter maka total karakter yang dikirimkan sebesar 10 bit dengan tambahan 1 bit start dan 1 bit stop memerlukan waktu sebesar $0,010 \times 10 = 1,04 \text{ ms}$.

4.1.2 Implementasi Untuk Perangkat *Sensor Node* dan *Server Node*

Tabel 4.1 Peralatan yang digunakan dalam Penelitian

Nama	Keterangan
Xbee Pro	Sebagai Router dan End Device
Xbee Adapter	Untuk Menggatur Xbee
Xbee Shield	Dipasang pada bar Arduino
Boar Arduino	Komunikasi serial dengan komputer
Battery	Catu Daya 9 Volt
X-CTU	Perangkat Lunak Untuk Mengatur Xbee
Processing	Perangkat Lunak Digunakan Untuk Pengujian Sistem

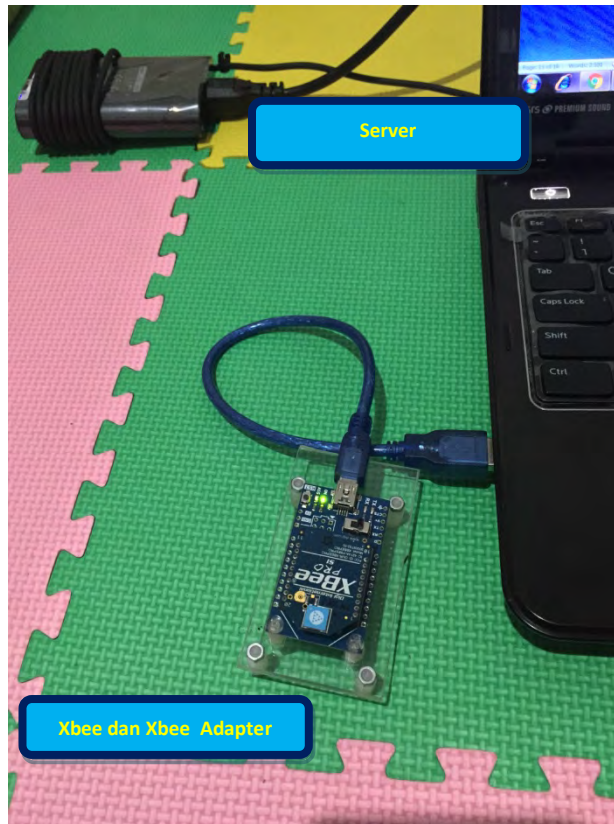
Pada implementasi yang direncanakan adalah menghubungkan atau mengintegrasikan 3 buah perangkat Xbee Pro, sensor *temperature*, sensor gas, serta Mikrokontroler Arduino. Implementasi pada penelitian ini akan menggunakan 3 buah node sensor (2 sebagai *end device*, 1 sebagai *router*) untuk melakukan proses monitoring temperature dan gas pada area gunung berapi. Integrasi perangkat pada node sensor dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Perangkat *Sensor Node*

Sedangkan untuk perangkat adapter terminal komunikasi data node server yang terdiri dari *Xbee* dan Adapter *Xbee* yang terhubung

dengan *Notebook* menggunakan kabel mini USB dapat dilihat seperti pada Gambar 4.2. *Notebook* dalam rangkaian perangkat ini berfungsi sebagai server.



Gambar 4.2 *Server Node*

4.1.3 Pengujian pengiriman data dari *Sensor Node* ke *Server Node*

Untuk pengujian pengiriman data pada node sensor ke node server dilakukan bertujuan untuk mengetahui apakah pengirim (*transmitter*) dan penerima (*receiver*) dari Xbee Pro antar node server dengan node sensor dapat bekerja dengan baik. Cara pengujian pengiriman data ini dilakukan dengan cara mengirim karakter dari *node sensor* ke *node server*. Masing-masing node sensor yang terdiri atas node sensor 1, node sensor 2 dan node sensor 3 akan mengirim data karakter ke node server secara bersamaan. Sehingga model pengiriman data dalam skenario

penelitian ini adalah secara *multi hop*. Untuk konfigurasi percobaan dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Pengujian TX dan RX antara *Sensor Node* dan *Server Node*

Hasil pengujian pengiriman data dari *sensor node 1*, *sensor node 1* dan *Sensor Node 2* menghasilkan data hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Pengujian Pengiriman *Sensor Node* dengan *Server Node*

Karakter yang dikirim di Node Sensor 1	Karakter yang dikirim di Sensor Node 2	Karakter yang diterima Node server dari		Keterangan error
		Sensor Node 1	Sensor Node 2	
abcdefghi	abcdefghi	abcdefghi	abcdefghi	Tidak error
ABCDEFGHGI	ABCDEFGHGI	ABCDEFGHGI	ABCDEFGHGI	Tidak error
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	Tidak error
!@#%&.,?	!@#%&.,?	!@#%&.,?	!@#%&.,?	Tidak error

4.1.4 Pengujian *Analog Digital Converter* (ADC) dan Kalibrasi Sensor

Dalam implementasi di penelitian ini digunakan ADC 8 bit seperti yang sudah dijelaskan pada perancangan di dalam Bab 3. ADC 8 bit akan diimplementasikan untuk sensor *temperature* ataupun untuk sensor gas. Pengujian pada Analog Digital Converter bertujuan untuk melihat apakah hasil pembacaan berjalan dengan baik atau tidak. Pada Tabel 4.2 merupakan hasil perbandingan pembacaan ADC dengan data analog dari sensor. Untuk tegangan analog sensor menggunakan *voltmeter* sedangkan untuk pembacaan ADC diukur melalui

pengamatan data ADC yang dikirim ke PC melalui kabel USB. Pada Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan pembacaan tegangan analog dengan hasil pembacaan pada ADC

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Pembacaan pada ADC Microcontroller Arduino dan Tegangan Analog Sensor

Tegangan Analog Sensor (Volt)	Pembacaan ADC	Tegangan ADC (Volt)	Error (%)
	8 bit	8 bit	8 bit
1	51	0.99	1
2	103	1.99	0.5
3	154	2.99	0.333333
4	203	3.98	0.5
5	255	4.98	0.4

Dari hasil pengukuran pembacaan pada ADC Microcontroller Arduino UNO dan tegangan analog sensor didapatkan *error* sebesar 0,3333 % pada saat tegangan analog terbaca sebesar 3 Volt tetapi tegangan ADC menunjukkan hasil pengggukuran sebatas 2, 99. Sedangkan, untuk pengukuran pada kondisi tegangan analog sensor 1 Volt diperoleh *error* sebesar 1 % > Kemudian pada saat kondisi tegangan analog terbaca 4 dan 5 volt masing-masing menunjukkan hasil *error* sebesar 0,5 dan 0.4 %.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sensor LM-35

Termometer Ruangan (°C)	Pembacaan Nilai Digital ADC	Pembacaan Sensor Suhu (°C)	error (%)
25	13	25.33	1,32
30	15	29.28	0.72
50	26	50.24	0.48
75	38	75.21	0.28

Pengujian kemudian dilakukan pada sensor LM-35 yang berfungsi sebagai sensor *temperature*. Untuk pengujian sensor *temperature*, alat yang digunakan adalah *Thermometer* ruangan sehingga hasil pengujian dari sensor LM-35 adalah

perbandingan antara *Thermometer* ruangan dengan hasil pembacaan dari sensor LM-35 sebagai sensor *temperature*. Dan dari hasil pengujian sensor *temperature* ini didapatkan tingkat *error* kesalahan pada pembacaan berkisar antara 0,28 % pada saat pengukuran *temperature* sebesar 75°C sampai dengan 1,32 % pada saat pengukuran *temperature* sebesar 25°C. Hasil Pengujian Sensor LM-35 dapat dilihat seperti pada Tabel 4.4

4.1.5 Pengujian *Baudrate Radio Frequency* pada Xbee Pro

Setelah pengujian pengiriman data dilakukan pengujian berikutnya yaitu pengujian yang dilakukan pada saat kondisi di lingkungan terbuka (*outdoor*) dan kondisi *Line Of Sight* (LOS). Tujuan pengujian pengukuran *baudrate* dilakukan adalah untuk mengetahui kualitas proses pengiriman data pada Xbee Pro. Pada tabel 4.5 dapat diketahui bahwa *baudrate* 9600 adalah komunikasi yang disediakan serta dapat digunakan oleh modul *Wireless RF* Xbee Pro untuk proses komunikasi data.

Tabel 4.5 Data Hasil Pengukuran Kualitas Pengiriman Data *Xbee Pro* Menggunakan Baudrate 9600

No	Baudrate	Jarak (m)	Data yang dikirim (byte)	Data yang diterima (byte)	Data yang <i>loses</i> (byte)
1	9600	10	1000	1000	0
2	9600	15	1000	1000	0
3	9600	20	1000	1000	0
4	9600	25	1000	1000	0
5	9600	30	1000	1000	0
6	9600	35	1000	1000	0
7	9600	40	1000	1000	0
8	9600	45	1000	1000	0
9	9600	50	1000	998	2
10	9600	55	1000	1000	0
11	9600	60	1000	1000	0
12	9600	65	1000	998	2
13	9600	70	1000	998	2

No	Baudrate	Jarak (m)	Data yang dikirim (byte)	Data yang diterima (byte)	Data yang <i>loses</i> (byte)
14	9600	75	1000	998	2
15	9600	80	1000	998	2
16	9600	85	1000	998	2
17	9600	90	1000	996	4
18	9600	95	1000	996	4
19	9600	100	1000	996	4

4.2 Pengujian Jangkauan Maksimum, *Delay*, dan *Throughput*

Untuk pengujian jangkauan maksimum untuk kondisi tanpa penghalang (*Line of Sight*) dilakukan di Lapangan KONI, Surabaya, Jawa Timur. Pada pengujian jangkauan maksimum ini dibuat skenario pengujian jarak jangkauan maksimum yang dapat dilihat pada Gambar 4.4

Skenario pada pengujian jarak jangkauan maksimum ini adalah menggunakan satu *node sensor* dan satu *node server* untuk mengetahui seberapa jauh jangkauan yang dimiliki satu node sensor. Pengujian jangkauan jarak maksimum ini dilakukan dengan cara mengirimkan data *temperature sensor* ke node server dengan cara menambah jarak jangkauan pengiriman dari *node sensor* ke *node server*.



Gambar 4.4 Pengujian Jangkauan Transmisi Kondisi *Line of Sight* (LOS)

Kemudian berikutnya dilakukan pengujian dengan membandingkan data yang dikirim dengan data yang diterima pada *node server* dalam kondisi LOS dan NLOS. Hasil pengukuran dari pengujian jangkauan jarak maksimum pada kondisi *Line of Sight* (LOS) dapat dilihat pada Tabel 4.6. Dari hasil pengujian yang terlihat pada tabel 4.6 dapat dilihat bahwasannya hasil pengujian dari sistem yang dibuat dengan kondisi *Line of Sight* (LOS) didapatkan untuk jarak jangkauan maksimum adalah sebesar 500 meter.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Jangkauan Transmisi Dengan Kondisi *Line Of Sight* (LOS)

Jarak (meter)	Paket dari sensor node	Paket yang diterima server node	Keterangan
50	@01101906#	@01101906#	terkirim
150	@01101906#	@01101906#	terkirim
200	@01101906#	@01101906#	terkirim
250	@01101906#	@01101906#	terkirim
300	@01101906#	@01101906#	terkirim
350	@01101906#	@01101906#	terkirim
400	@01101906#	@01101906#	terkirim
450	@01101906#	@01101906#	terkirim
500	@01101906#	@01101906#	terkirim
550	@01101906#		tidak terkirim

Pengujian jarak jangkauan maksimum dilakukan di Gedung Stikom Lantai 8, Surabaya dengan denah ruangan dan posisi pengukuran seperti pada Gambar 4.5 Pada lokasi pengukuran di ruangan laboratorium jurusan ini penghalang berupa tembok beton. Ketebalan tembok beton pada masing-masing ruangan laboratorium ini setebal 15 cm.

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Jarak Transmisi Terjauh Dengan Kondisi *Non Line Of Sight* (NLOS)

Posisi Node Server	Posisi Node Sensor	Jarak	Paket yang diterima Node server	Keterangan
Lab. Wireless	Lab PLC	15 m	@0110.1906#	Terkirim
Lab. Wireless	Lab Digital	15 m	@0110.1906#	Terkirim
Lab Wireless	Lab Elektronika	25 m	@0110.1906#	Tidak Terkirim
Lab. Wireless	PPTI	15 m	@0110.1906#	Terkirim
Lab. Wireless	PJM	30 m	@0110.1906#	Tidak Terkirim
Lab. Wireless	Ruang Conference	40 m	@0110.1906#	Tidak Terkirim

Sedangkan untuk Tabel 4.7 menjelaskan bahwa dari hasil pengujian dengan kondisi NLOS jangkauan transmisi maksimum berkisar jarak 25 meter, hal ini dikarenakan pengaruh penghalang yang menyebabkan terjadinya penurunan daya sinyal yang diterima sehingga kondisi sinyal tidak dapat dikenali.



Gambar 4.5 Denah Lokasi Pengujian *Non Line of Sight* (NLOS)

Kemudian dilakukan pengujian *throughput* pada sistem *real time monitoring* gunungapi dengan cara merubah jarak dengan lama pengamatan selama satu menit untuk masing-masing node 1 dan 2 secara bergantian. Data yang dikirimkan oleh sensor node 1 dan 2 adalah data *temperature* yang mempunyai kecepatan transfer besar agar bisa dibandingkan ketika mengirimkan dengan metode *single hop* dan *multi hop*. Untuk jarak digunakan berdasarkan Tabel 4.8 dimana jarak maksimum adalah 500 meter.

Tabel 4.8 Pengujian *Throughput*

Jarak	Paket data yang diterima dalam 1 menit		<i>Throughput</i> node 1 (KBps)	<i>Throughput</i> node 2 (KBps)
	node 1 (byte)	node 2 (byte)		
100 m	129300	119980	2.1	1, 99
200 m	119200	106824	1,98	1.78
300 m	108210	84200	1.80	1.40
400 m	74000	53860	1.23	0.897
500 m	50178	12220	0.836	0.20

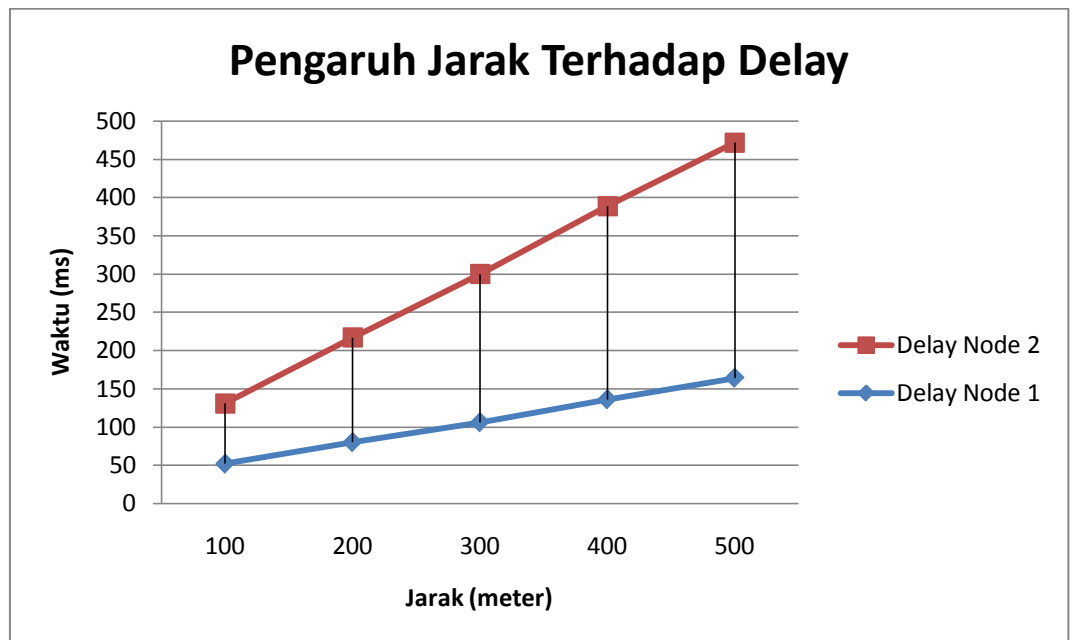
Pada pengukuran *throughput* dengan jarak 100 meter pada node sensor 1 dan node sensor 2, node *server* menerima data paket sebesar 129300 Byte dari node sensor 1 dan 119980 Byte dari node sensor 2 dengan persamaan 3.7 diperoleh nilai *throughput* untuk node sensor 1 sebesar 2.1 KBps dan node sensor 2 sebesar 1,99 KBps, sistem pengukuran ini berlaku juga untuk jarak 200 m sampai dengan 500 m. pada Tabel 4.8 tiap perubahan jarak 100 m sampai dengan 500 m membuat penurunan *throughput* pada node sensor 1 dan node sensor 2. Pada node sensor 1 *throughput* dari jarak 100 m sampai dengan jarak 300 m mengalami penurunan sekitar 0.12 - 0,18 KBps, sedangkan setelah jarak 300 m penurunan *throughput* sekitar 0.57 KBps, hal ini disebabkan banyaknya paket data yang hilang pengaruh propagasi, dengan jarak yang semakin jauh membutuhkan waktu propagasi yang besar/*delay*, sehingga paket yang diterima dalam 1 menit berkurang. Hal tersebut bisa juga dikarenakan saat proses pengiriman data *Sensor Node 2* harus melewati *Sensor Node 1 (Multi Hop)* yang memungkinkan adanya *delay* dalam memproses data yang diterima *Sensor Node 1*.

Kemudian dilakukan pengujian *delay (end-to-end delay)* untuk mengetahui kinerja sistem terhadap pengaruh jarak terhadap waktu dengan lamanya pengiriman. Pada pengujian *delay* ini, akan dilakukan sebuah skenario dengan cara mengirimkan data sebesar 200 *byte*. Setelah itu, dalam proses pengiriman data tersebut akan diubah-ubah jarak pengirimannya untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap lamanya pengiriman dengan cara memperhatikan *time stamp* yang ditunjukkan pada saat proses penerimaan di

Server Node. Hasil pengukuran *delay* yang terjadi pada *Sensor Node 1* dan *Sensor Node 2* dapat dilihat seperti pada Tabel 4.9. Gambar 4.5 menunjukkan grafik pengaruh jarak terhadap delay penerimaan pada masing-masing *Sensor Node* ke *Server Node*.

Tabel 4.9 Pengukuran *Delay*

Jarak	<i>Delay</i> Node 1 (ms)	<i>Delay</i> Node 2 (ms)
100 m	46	81
200 m	74	139
300 m	104	193
400 m	136	247
500 m	159	302



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Jarak terhadap *Delay*

Dari Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Jarak terhadap *Delay*. Ketika dilakukan pengujian dengan jarak sebesar 100 meter yang terjadi pada *Sensor Node 1* adalah sebesar 46 m s sedangkan pada *Sensor Node 2* adalah sebesar 81 m s. Ketika dengan bertambahnya jarak pengukuran maka nilai delay akan semakin besar. Hal ini dikarenakan kemampuan propagasi gelombang yang berbeda-beda dalam pengiriman data dengan jarak pengukuran yang berbeda.

4.3 Pengujian Sensor *Temperature*

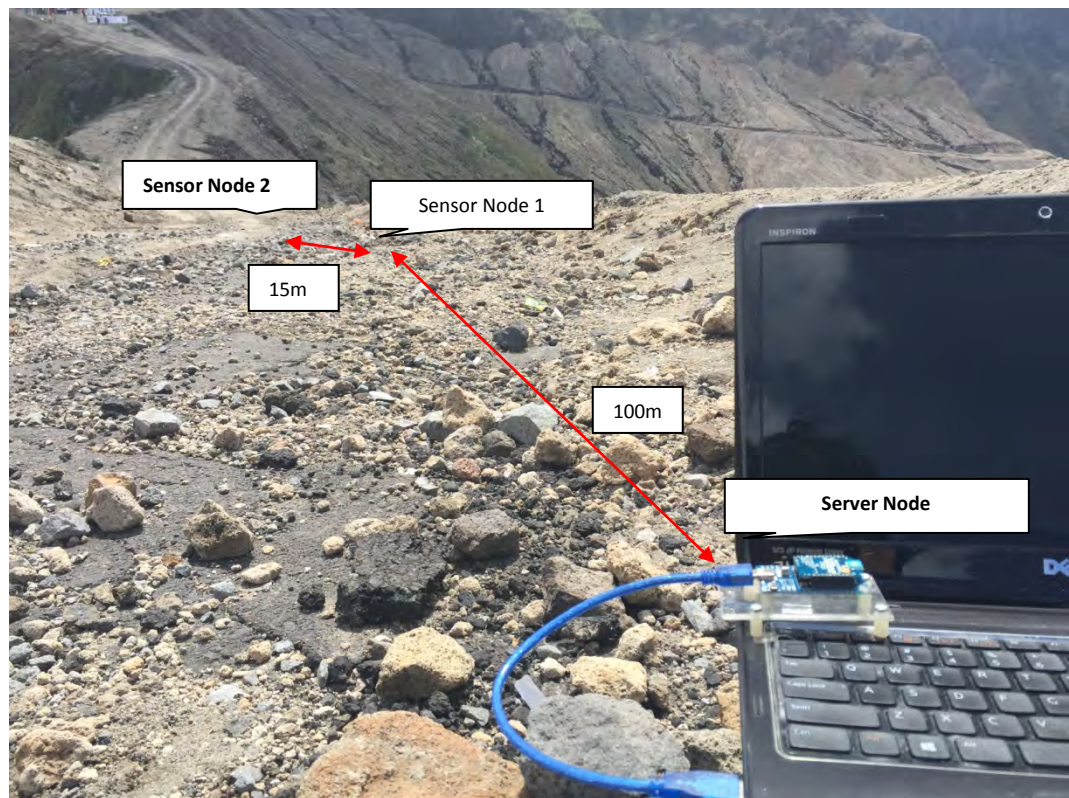
Untuk pengujian sensor *temperature* dan gas akan dilakukan di sekitaran kawah Gunung Kelud, Jawa Timur. Topologi yang digunakan pada saat pengukuran adalah topologi *tree*. Skenario yang digunakan sebagai desain adalah *multi-hop* WSN, yaitu dengan menggunakan satu *PAN Coordinator* atau berfungsi sebagai *Server Node* dan dua *Sensor Node*. Skenario dirancang dengan cara masing-masing *Sensor Node* akan mengirimkan data hasil pengukurannya secara otomatis sesuai dengan penjadwalan.

Dalam penelitian ini, peneliti hanya menggunakan dua sensor yang hanya mampu melakukan pengukuran *temperature* dan gas 100 m disekitar lingkungan kawah Gunung Kelud karena izin dari PVMBG. Untuk kondisi pengukuran *temperature* dan gas pada kawah Gunung Kelud dapat dilihat secara dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Kondisi Pengukuran di Gunung Kelud

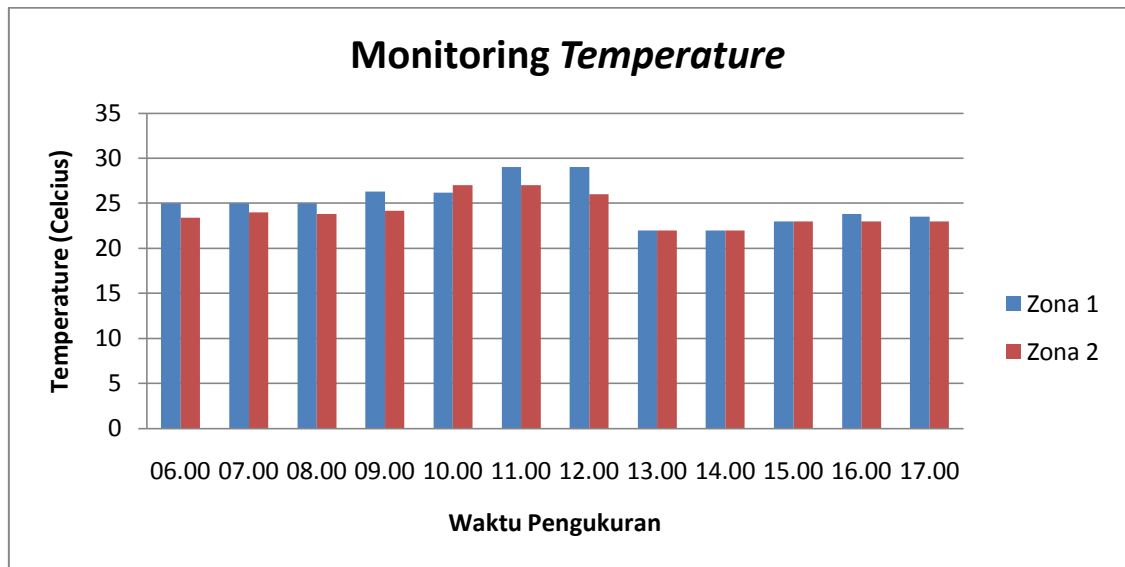
Kondisi Pengukuran	
Baudrate	9600 bps
Kondisi Propagasi	NLOS
Topologi jaringan	Topologi <i>Tree</i> dengan 3 node
Jarak pengukuran	15 m(antar node sensor), 100 m(node server dengan node sensor)
Waktu pengukuran	06.00 - 17.00 WIB
Periode Pengukuran	Node sensor 1 (Suhu) tiap 1 jam Node Sensor 2 (Gas) tiap 1 jam
Lama Pengukuran	Sensor Node 1 (Gas CO ²) selama 15 menit Sensor Node 2 (Suhu) selama 10 detik

Sedangkan Gambar 4.6 menunjukan arsitektur dan skenario yang dirancang serta digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4.7 Skenario Pengujian Sistem *Real Time Monitoring* Gunungapi

Untuk pengukuran *temperature* dilakukan pada setiap selang 1 jam dengan lama pengukuran selama 10 detik, dari Pukul 06.00 sampai dengan 17.00. Pengukuran *temperature* dilakukan saat kondisi Gunung Kelud dengan Status Normal. Sedangkan, untuk jarak pengukuran tiap sensor node adalah 15 m dan 100 m. Gambar 4.7 juga menunjukkan pada saat kondisi pengukuran di sekitar kubah Gunung Kelud dengan menggunakan satu *Server Node* dan dua *Sensor Node* terpasang pada masing-masing titik pantau yang sudah ditentukan terlebih dahulu.



Gambar 4.8 Monitoring *Temperature* pada Zona 1 dan Zona 2

Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengukuran pada pukul 06.00 sampai dengan pukul 17.00. Pengamatan *temperature* pada area Gunung Kelud dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan secara geokimia Gunung Kelud, sendiri tetapi juga bisa dijadikan salah satu indikator aktivitas vulkanik yang terjadi di Gunung Kelud. Sehingga apabila terlihat dari hasil pengamatan adanya kenaikan yang abnormal dari pengukuran suhu dapat dijadikan sebagai salah satu bahan untuk kajian dalam menentukan status gunung tersebut.



Gambar 4.9 Kondisi Lingkungan Kawah Gunung Kelud pada Pukul 11.00

Dari hasil pengamatan terlihat bahwa suhu tertinggi dari Gunung Kelud terjadi saat antara pukul 11.00 s ampai dengan pukul 12.00 yaitu dengan temperature sebesar 29°C dan kemudian setelah pukul 13.00 *temperature* turun menjadi 22°C dan terus naik kembali sekitar 22°C setelah pukul 17.00. Salah satu yang berpengaruh terhadap *temperature* disekitaran kawasan Gunung Kelud selain aktivitas vulkanik sendiri adalah kondisi cuaca di kawasan Gunung Kelud yang pada saat dilakukan pengukuran terjadi hujan deras pada saat pengukuran dilakukan pada pukul 13.10 s ampai dengan pukul 15.00. Untuk kondisi lingkungan Kwah Gunung Kelud seperti terlihat pada Gambar 4.9

4.4 Pengujian Sensor Gas *Carbon Dioksida* (CO^2)

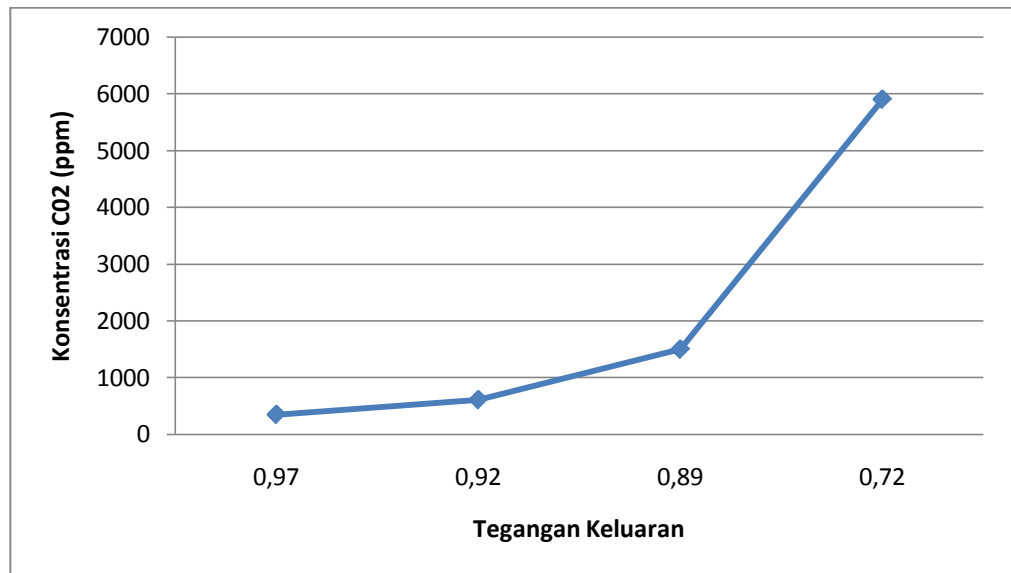
Sensor MG-811 digunakan untuk mengukur adanya senyawa gas CO^2 . Rangkaian pada sensor gas MG-811 seperti yang tertera pada *data sheet* menggunakan prinsip reaksi elektro kimia untuk tegangan outputnya. Dimana

reaksi kimia yang terjadi akan menghasilkan suatu *elektromotive force* (emf) diantara 2 elektroda. Kemudian, akibat perubahan nilai emf akan menunjukkan suatu perubahan konsentrasi CO². Tegangan sebesar 5 volt DC akan diberikan untuk mengetahui pemanas sensor yang akan menghasilkan emf ketika elektroda mendeteksi adanya senyawa CO². Pengujian pada sensor gas MG-811 berikutnya dilakukan dengan cara membandingkan nilai konsentrasi gas karbon dioksida terhadap tegangan keluaran sensor. Tabel 4.11 Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran Sensor MG-811

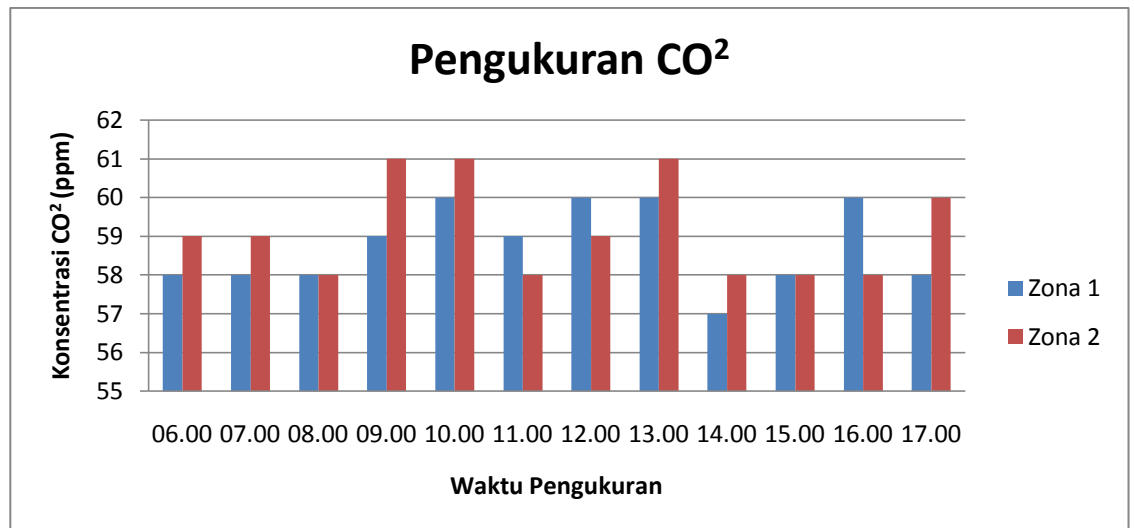
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Pengukuran Tegangan Keluaran

Percobaan	Tegangan Keluaran	CO ² (ppm)
1	0,97	350
2	0,92	610
3	0,89	1500
4	0,72	5905

Dari hasil pengujian diatas dapat diketahui bahwasannya semakin kecil hasil pengukuran tegangan keluaran dari sensor gas MG-811 maka konsentrasi CO² yang terbaca akan semakin besar. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Pembacaan Tegangan keluaran dengan konsentrasi CO².



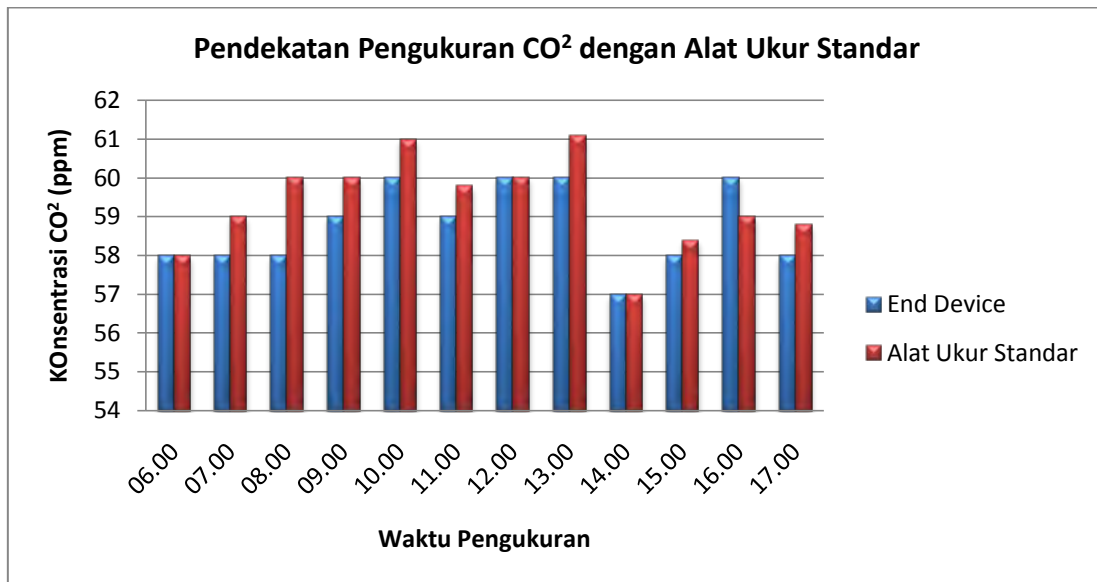
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Antara Pembacaan Tegangan Keluaran dengan konsentrasi CO².



Gambar 4.11 Hasil Pengukuran Sensor CO²

Untuk hasil pengukuran konsentrasi CO² seperti pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa pada pukul 06.00 di dapatkan hasil sebesar 58 ppm pada pembacaan Sensor Node 2 sedangkan pada *Sensor Node 1* didapatkan pembacaan konsentrasi CO² sebesar 59 ppm. Kemudian dari pengukuran antara pukul 07.00

sampai dengan Pukul 17.00 didapatkan hasil pengukuran yang memiliki rentang antara 58-61 ppm. Sedangkan untuk rentang tertinggi dari hasil pengukuran konsentrasi CO² adalah pada pukul 09.00 sampai dengan pukul 13.00 yaitu berada pada rentang kisaran antara 59-61 ppm.



Gambar 4.12 Model Pendekatan Sensor CO² terhadap alat ukur standar

Sedangkan pada Gambar 4.11 adalah hasil dari pendekatan Sensor CO² terhadap alat ukur standar dimana menunjukkan bahwa pada saat dilakukan pengukuran pada pukul 06.00 hasil dari pembacaan sensor gas CO² menunjukkan hasil sebesar 58 ppm. Demikian juga dengan pembacaan yang dilakukan dengan menggunakan alat standar pengukuran yang dilakukan oleh petugas dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi didapatkan hasil sebesar kurang lebih sebesar 58 ppm.

Tabel 4.12 Perbandingan Alat Standart dengan Sensor Gas CO²

Volume(cc atau ml)	Alat ukur standar (ppm)	Sensor MG-811 (ppm)	Error (ppm)
5	32	30	3
7	66	64	2
12	182	183	1
17	440	437	3
20	741	744	3

Tabel 4.12 di atas adalah hasil perbandingan alat standar dengan sensor Gas CO² MG-811. Dari tabel tersebut terlihat, dari hasil pengujian menunjukkan bahwa ada selisih *error* sebesar 1-3 ppm antara pada pembacaan alat ukur standar dengan hasil yang terbaca pada sensor gas MG-811. Sehingga dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil yang didapatkan tidak jauh berbeda secara signifikan antara hasil pengujian dari protipe yang dibuat dengan alat standar yang ada.

[HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN]

BAB V

PENUTUP

Pada bab ini akan diuraikan kesimpulan dari hasil pengujian pada penelitian yang sudah uraikan pada bab sebelumnya dan mengenai saran yang bisa dijadikan sebagai bahan untuk melanjutkan penelitian ini.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengukuran pengujian dari skenario yang sudah dianalisis pada Bab 4. Maka dapat diberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian pada penelitian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa protokol komunikasi Zigbee/IEEE 802.15.4 dapat digunakan serta diimplementasikan pada sistem real time monitoring gunung berapi.
2. Dari hasil pengujian jarak jangkauan maksimum dapat diketahui bahwa jarak jangkauan maksimum transmisi yang dimiliki oleh setiap node sensor yang ada (node sensor 1 dan sensor 2) adalah kurang lebih sejauh 500 meter pada kondisi *Line of Sight* (LOS). Sedangkan untuk pengujian jarak jangkauan maksimum pada kondisi Non Line of Sight dengan menggunakan topologi tree dengan menggunakan komunikasi multi hop diketahui sejauh 25 meter dengan material penghalang berupa tembok beton dengan ketebalan 15 cm. Sehingga dengan topologi *tree* dan komunikasi multi hop ini dapat memperluas area jangkauan transmisi. Dari hasil pengukuran *jangkauan jarak maksimum dengan kondisi Non Line of Sight* (NLOS) menunjukkan bahwa ketebalan dari penghalang yang dilewati akan memperpendek jangkauan transmisi dari perangkat.
3. Dari hasil pengujian *throughput* yang didapatkan untuk jarak yang semakin jauh nilai *throughput*nya semakin kecil. Dari hasil ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak titik ukur maka nilai *throughput*nya semakin berkurang. Diketahui bahwa pada node sensor 1 besarnya *throughput* dari jarak 100 m sampai dengan jarak 300 m mengalami penurunan sekitar 0.12 - 0.18 KBps, Sedangkan setelah pengujian pada jarak 300 m

mengalami penurunan *throughput* sebesar 0.57 KBps. Hal tersebut disebabkan banyaknya paket data yang hilang akibat pengaruh propagasi, sehingga dengan jarak yang semakin jauh akan membutuhkan waktu propagasi yang besar atau *delay*. Hal tersebut terlihat juga ketika paket yang diterima dalam 1 menit berkurang.

4. Dari hasil dilakukannya pengujian dengan jarak sebesar 100 m, *Sensor Node 1* menghasilkan *delay* sebesar 46 ms sedangkan pada *Sensor Node 2* adalah sebesar 81 ms. Nilai tersebut semakin besar ketika jarak bertambah. Nilai *delay* akan bertambah besar jika jarak pengukuran semakin jauh. Dikarenakan pengaruh propagasi pada saat pengiriman data yang bisa juga disebut dengan *delay* transmisi yang bergantung pada jarak yang harus ditempuh antara sumber dengan tujuan.

5.2 Saran

Dari hasil pengujian dan analisis dalam penelitian ini didapatkan beberapa hal yang bisa dijadikan untuk pengembangan penelitian berikutnya, yaitu :

1. Diperlukan *sensor node* yang lebih banyak untuk dapat memperluas jarak jangkauan transmisi dan untuk memperbanyak titik-titik yang akan dimonitoring sehingga dapat mewakili kondisi *real* di lapangan.
2. Dalam *prototipe* sistem ini diketahui memerlukan tingkat komputasi yang tinggi sehingga penambahan kapasitas memori diperlukan untuk penyimpanan data dari sensor sebelum dikirim.

LAMPIRAN A

Spesifikasi Modul RF XBee-PRO

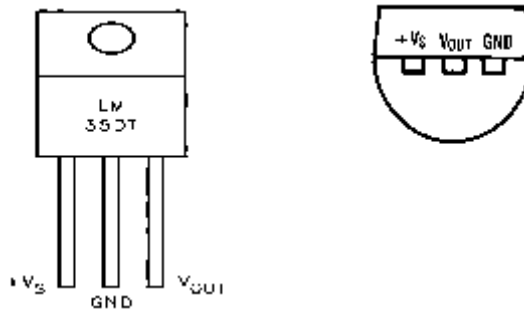
Tabel 1 Spesifikasi Modul RF XBee-PRO

Performance	
Indoor Urban-Range	up to 300' (100 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 1 mile (1500 m)
Transmit Power Output	60 mW (18 dBm) conducted,
(software selectable)	100 mW (20 dBm) EIRP
RF Data Rate	250,000 bps
Serial Interface Data Rate	1200 – 115200 bps
(software selectable)	(non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	- 100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements	
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V
Idle / Receive Current (typical)	55 mA (@3.3 V)
Power-down Current	< 10 μ A
General	
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz
Frequency Band	2.4 - 2.4835 GHz
Modulation	OQPSK
Dimensions	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector
Networking & Security	
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to multipoint & Peer-to-peer
Number of Channels	12 Direct Sequence Channels

[HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN]

LAMPIRAN B

Spesifikasi Sensor Suhu :



Gambar Sensor Suhu LM35

1. Memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu 10 mVolt/ $^{\circ}\text{C}$, sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam *celcius*.
2. Memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi yaitu 0,5 $^{\circ}\text{C}$ pada suhu 25 $^{\circ}\text{C}$ seperti terlihat pada gambar 2.2.
3. Memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara -55 $^{\circ}\text{C}$ sampai +150 $^{\circ}\text{C}$.
4. Bekerja pada tegangan 4 sampai 30 volt.
5. Memiliki arus rendah yaitu kurang dari 60 μA .
6. Memiliki pemanasan sendiri yang rendah (*low-heating*) yaitu kurang dari 0,1 $^{\circ}\text{C}$ pada udara diam.
7. Memiliki impedansi keluaran yang rendah yaitu 0,1 W untuk beban 1 mA.
8. Memiliki ketidaklinieran hanya sekitar $\pm \frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$.

Spesifikasi Sensor Accelerometer MMA 7361

- Low Current Consumption: 400 μA
- Sleep Mode: 3 μA
- Low Voltage Operation: 2.2 V – 3.6 V
- High Sensitivity (800 mV/g @ 1.5g)
- Selectable Sensitivity ($\pm 1.5\text{g}$, $\pm 6\text{g}$)
- Fast Turn On Time (0.5 ms Enable Response Time)
- Self Test for Freefall Detect Diagnosis
- 0g-Detect for Freefall Protection
- Signal Conditioning with Low Pass Filter
- Robust Design, High Shocks Survivability
- RoHS Compliant
- Environmentally Preferred Product
- Low Cost

[HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN]

LAMPIRAN C

MG811 CO2 Sensor

Features

- Good sensitivity and selectivity to CO₂
- Low humidity and temperature dependency
- Long stability and reproducibility

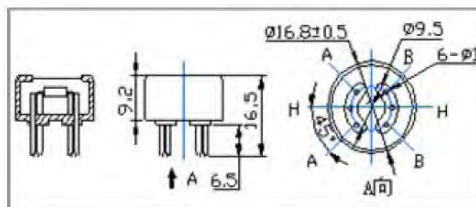
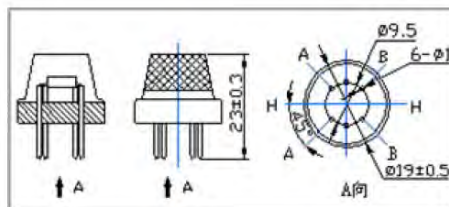
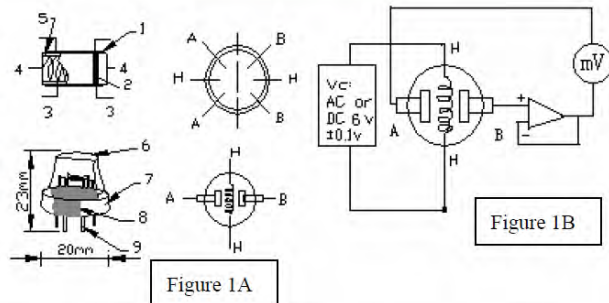
Application

- Air Quality Control
- Ferment Process Control
- Room Temperature CO₂ concentration Detection



Structure and Testing Circuit

Sensor Structure and Testing Circuit as Figure. It composed by solid electrolyte layer (1), Gold electrodes (2), Platinum Lead (3), Heater (4), Porcelain Tube (5), 100m double-layer stainless net (6), Nickel and copper plated ring (7), Bakelite (8), Nickel and copper plated pin (9)。



Working Principle

Sensor adopt solid electrolyte cell Principle. It is composed by the following solid cells :

Air, Au|NASICON|| carbonate|Au, air, CO₂

When the sensor exposed to CO₂, the following electrodes reaction occurs :

Cathodic reaction : $2\text{Li} + \text{CO}_2 + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- = \text{Li}_2\text{CO}_3$

Anodic reaction : $2\text{Na} + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- = \text{Na}_2\text{O}$

Overall chemical reaction : $\text{Li}_2\text{CO}_3 + 2\text{Na} = \text{Na}_2\text{O} + 2\text{Li} + \text{CO}_2$

The Electromotive force (EMF) result from the above electrode reaction, accord with according to Nernst's equation: :

$$\text{EMF} = E_c - (R \times T) / (2F) \ln (P(\text{CO}_2))$$

$P(\text{CO}_2)$ —CO₂ partial Pressure E_c —Constant Volume R —Gas Constant volume

T — Absolute Temperature (K) F —Faraday constant

From Figure 1B, Sensor Heating voltage supplied from other circuit, When its surface temperature is high enough, the sensor equals to a cell, its two sides would output voltage signal, and its result accord with Nernst's equation. In sensor testing, the impedance of amplifier should be within 100—1000GΩ, Its testing

current should be control below 1pA.

Specifications :

Symbol	Parameter Name	Technical	Remarks
V_H	Heating Voltage	$6.0 \pm 0.1 \text{ V}$	AC or DC
R_H	Heating Resistor	$30.0 \pm 5\% \Omega$	Room Temperature
I_H	Heating Current	@200mA	
P_H	Heating Power	@1200mW	
T_{ao}	Operating Temperature	$-20 \dots +50^\circ\text{C}$	
T_{as}	Storage Temperature	$-20 \dots +70^\circ\text{C}$	
□ EM F	Output	30—50mV	350—10000ppm CO2

Sensitivity :

Figure 2 Shows gas sensor sensitivity curve. :

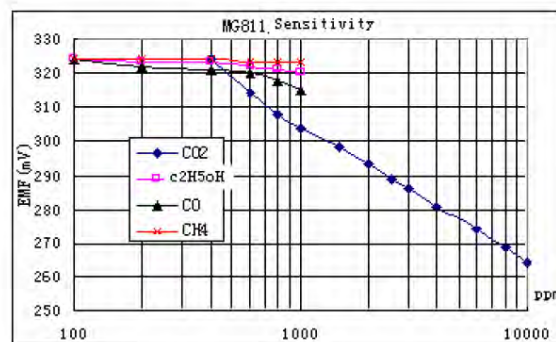
Conditions:

Tem : 28°C

RH : 65%

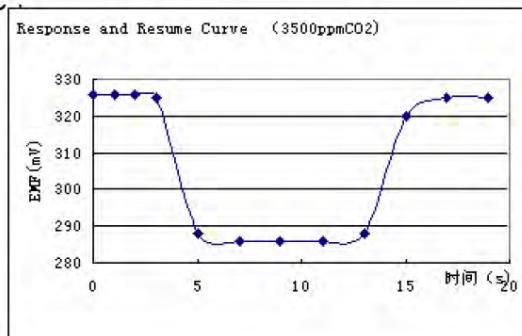
Oxygen : 21%

EMF: sensor EMF under different gas and concentration.

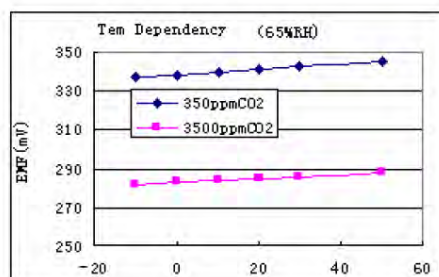


Response and Resume Characteristic :

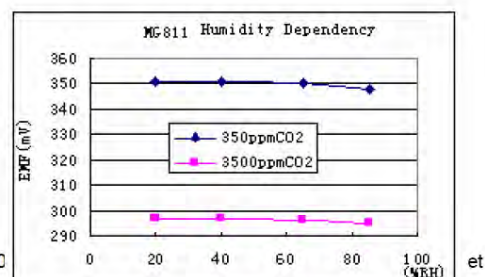
Figure 3 shows Solid electrolyte sensor response and resume characteristics.



Temperature and Humidity Dependency :



67169090



et

DAFTAR PUSTAKA

- A.Emin Aktan, F. Necati Catbas. (2003), *“Development of a Model Health Monitoring Guide for Major Bridges”*. FHWA (Federal Highway Administration) Research and Development.
- Akyildiz, I.F, Sankarasubramaniam, Y, dan Cayirci, E. (2002), *“A Survey on Sensor Network”*, *IEEE Communication Magazine*, hal. 102-114.
- Akyildiz, I.F, Ismail H. dan Kasimoglu. (2004), *“Wireless Sensor and Actor Networks: Research Challenges”*, *Ad Hoc Networks Vol 2*, hal. 351-367.
- C.-H. Lien, Y.-W. Bai, dan M.-B. Lin. (2007), *“Remote-controllable Power Outlet System for Home Power Management”*, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.53, No. 4, hal. 1634–1641.
- Cueva, R.L, Benitez, D, dan Caamano, A. (2015), *“On Real-Time Performance Evaluation of Volcano Monitoring Systems with Wireless Sensor Networks”* *IEEE Sensor Journal* Vol. 20, No. 10.
- Dang, G dan Cheng, X. (2014). *“Application of Wireless Sensor Network in Monitoring System Based on Zigbee”*. *IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA)*
- F. L. Lewis. (2004), *“Wireless Sensor Networks to Appear in Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications”*, Edition. D.J. Cook and S.K. Das, John Wiley, New York.
- G. Song, F. Ding, W. Zhang, dan A. Song. (2008), *“A Wireless Power Outlet System for Smart Homes”*, *IEEE Transactions on Consumer Electronics* Vol. 54, No.4 hal.1688–1691
- Hayes, J, Crowley, K dan Diamond, D. (2006), *“Simultaneous Web-Based Real-Time Temperature Monitoring Using Multiple Wireless Sensor Networks”*. *IEEE Journal*

Kim, D.H, An, B, dan Kim, N.S. (2008), “Architecture Model of Real-time Monitoring Service Based on Wireless Sensor Networks”. ISBN 978-89-5519-136-3.

M. Nahvi, J. Edminister. (2003), “Schaum’s Outlines Of Theory And Problems Of Electric Circuit”. Fourth Edition.

Mahasukhon, P, Hempel, H.S.M, Ma, T dan Shrestha, P.L. (2010), “ Multi-tier Multi-hop Routing in Large-scale Wireless Sensor Networks for Real-time Monitoring. *IEEE Sensors Conference*

S. Wu, D. Clements-Croome. (2007), “Understanding The Indoor Environment Through Mining Sensory Data A Case Study”, *Energy and Buildings* Vol. 39 No. 1, hal. 1183-1191.

Shahin Farahani. (2008), *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. 2008. Elsevier ltd. USA.

Song, W.Z, Huang, R, Xu, M, Shirazi, B.A dan Lahusen, R. (2010)“Design and Deployment of Sensor Network for Real-Time High-Fidelity Volcano Monitoring”. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed System, November Vol. 21, No. 11*

Swami, A. Zhao, Hong, YW. (2007), “*Wireless Sensors Network Signal Processing and Communications Perspectives*. John Wiley & Sons Inc.

Tse, David. Viswaneth, Pramod. 2005. *Fundamental of Wireless Communication*”, University of California, Berkeley and University of Illinois, Urbana-Champaign. Cambridge University Press.

W. Dargie dan C. Poellabauer. (2010), “Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and Practice”. John Wiley and Sons, Ltd.

Waltenegus, D., dan Cristian,P., (2010), ”Fundamentals Of Wireless Sensor Networks”, John Wiley & Sons,Ltd,

Wirawan, Sjamsjiar, R . Istas, P, dan Nagahisa Mita. (2008), *Desain of Low Cost Wireless Sensor Networks-Based Environmental Monitoring Sistem for Developing Country. Japan.*

Zigbee Alliance. (2009), “Smart Energy Profile Spsification,Version 1.0, March. 11”.

ZigBee Spesification . (2008). www.zigbee.org.

[HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN]

RIWAYAT HIDUP



Johan Pamungkas, Lahir di Pasuruan pada tanggal 19 Juni 1983. Penulis adalah anak ke enam dari tujuh bersaudara dari pasangan Bapak (Alm.) Hubertus Soenaryo dan Ibu Bun Yanah. Penulis beralamatkan di Dusun Mojorejo No. 01 RT. 01 RW. 05 Desa Ngerong Kec. Gempol Kab. Pasuruan

Penulis menyelesaikan pendidikan jenjang Strata 1 di Universitas Jember Jurusan Teknik Elektro Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga dan lulus pada tahun 2008 dengan gelar Sarjana Teknik (S.T). Kemudian pada tahun 2011 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Magister Pasca Sarjana Bidang Studi Telematika, ITS Surabaya. Penulis memiliki minat penelitian dalam bidang *Wireless Sensor Network* dan *Biomedical Engineering*. Penulis telah melaksanakan sidang Tesis pada bulan Januari 2016. Penulis dapat dihubungi melalui email: johan_pamungkas@yahoo.com atau 081336422219.